

O. PROF. DR.-ING. DR.-ING. E.H. KARL KORDINA
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

"KORROSIONSSCHUTZ VON BAUWERKEN,
DIE IM GLEITSCHALUNGSBAU ERRICHTET WURDEN"

A B S C H L U S S B E R I C H T

ZUM FORSCHUNGSVORHABEN

BERICHT ERSTATTET VON

O. PROF. DR.-ING. K. KORDINA
DIPL.-ING. S. DROESE

B I B L I O T H E K
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

DEZEMBER 1983

GEFÖRDERT VOM
DEUTSCHEN AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON
(V 203)

Kurzfassung in deutscher, englischer
und französischer Sprache

"Korrosionsschutz von Bauwerken,
die im Gleitschalungsbau errichtet wurden"

Eine Literaturlauswertung des Schrifttums über den Gleitschalungsbau, geordnet nach Empfehlungen zur

- Ausbildung der Schalhaut,
- Wahl der Zementart und des Zementgehaltes,
- Wahl der Betonzuschläge,
- Betonkonsistenz und zum Wasser-Zement-Wert,
- Verwendung von Zusatzmitteln,
- Art des Einbringens des Betons,
- Verdichtung,
- Gleitgeschwindigkeit und
- Oberflächenbehandlung des Betons

ergab sehr verschiedene, z. T. widersprüchliche Empfehlungen zur Technologie des Gleitbaus.

Im Rahmen eigener Versuche wurden insgesamt 14 Versuchswände erstellt, wobei die Betonzusammensetzung, Gleitgeschwindigkeit, Schalhaut und z. T. die Betondeckung der Bewehrung variiert wurden. Gemessen wurde die Größe der Reibung zwischen Schalung und Beton sowie - nach Bewitterung der Wandflächen mit CO_2 - die eingetretenen Karbonatisierungstiefen. An Proben aus Bohrkernen erfolgte die Bestimmung der Druckfestigkeit und der Biegezugfestigkeit des Betons. Zusätzlich wurde die Qualität der Betonoberflächen beurteilt.

An einem der Witterung frei ausgesetzten, bestehenden Bauwerk wurden Karbonatisierungstiefen ermittelt.

- II -

Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Betone mit rundkörnigen Zuschlägen, sandreicher als sonst üblich (Sieblinie C der DIN 1045), mit PZ 35 F erbringen vergleichsweise geringe Schalungsreibungskräfte und damit geringen Schalungsverschleiß.
- Ein Heben der Schalung in kurzen Zeitabständen (15 Min. gegenüber der bauüblichen 1 Std.) verringert die Schalungsreibung.
- Im Gleitschalungsbau sind auch hohe Betongüten erreichbar; die Druckfestigkeit der Wandbetone - ermittelt an Bohrkernen - war allerdings geringer als aus den Ergebnissen von Erhärtungswürfelproben erwartet werden konnte.
- Die Biegezugprüfungen ergaben keine Hinweise auf eine generelle Schädigung der Betonaußenfläche durch Ribbildung infolge Schalungsreibung.
- Die Betonoberfläche von gleitgeschalteten Bauteilen kann bei geeigneter Betonzusammensetzung und Schalung ohne Nachreiben des Betons eine mit üblichem Ortbeton vergleichbare Oberflächengüte erreichen; der Verzicht auf das Nachreiben bringt erhebliche wirtschaftliche Vorteile.
- Die Karbonatisierungstiefen des gleitgeschalteten Betons sind nicht oder nur wenig größer als bei Ortbeton zu erwarten. Die Betondeckung gem. DIN 1045, Ausgabe 1978, einschließlich des Zuschlags von 0,5 cm reicht für Gleitschalungsbauten insoweit aus.

- III -

- Im Gegensatz zu bisherigen Vorstellungen ist gebrochenes Korn (Splitt) als Zuschlag für Gleitschalungsbauten durchaus geeignet; hinsichtlich geringer Karbonatisierungstiefen ist dieser Zuschlag einem rundkörnigen überlegen.
- Die Verwendung von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen zum Beton kann bei Gleitschalungsbauten ungünstig wirken.

Auf der Grundlage der Versuchsergebnisse wurden Empfehlungen für die Baupraxis zur Ausführung von Gleitschalungsbauten erarbeitet.

S u m m a r y

"Protection against Corrosion of Slipformed Structures"

A review of the available literature dealing with the slipforming method, carried out with regard to their recommendations for

- the material of the formwork,
- the choice of the type and amount of cement,
- the choice of the aggregates,
- concrete-consistency and the watercement ratio,
- the use of additives,
- the pouring and compacting of the concrete,
- the sliding speed,
- the surface finishing

resulted in very different and sometimes contradictory recommendations for the technology of the slipforming method.

The scope of our own tests included the erection of 14 test walls, in order to investigate the influence of the concrete mix, sliding speed, formwork material and partially the concrete cover of the reinforcement. The friction between the formwork and the concrete as well as the depth of carbonation after the exposure of the wall surfaces to carbon-dioxide (CO_2) was measured. Drill core samples were taken in order to determine the compressive and the flexural strength of the concrete. Additionally the quality of the surface texture was assessed.

The depth of carbonation was measured on an existing building exposed to all weather conditions.

The most important results of these investigations can be summarized as follows:

- The use of concrete with rounded aggregates, with more than the usual amount of sand (grading curve C accord. to DIN 1045), and with a cement type PZ 35 F results in a lower friction between the concrete and the formwork, and therefore in a lower wear of the formwork.
- !
- Lifting of the formwork at short intervals (15 mins. instead of the usual 1 hour) significantly reduces the friction between formwork and concrete.
- A high quality concrete can be obtained of slipformed structures. The concrete compressive strength of the wall concrete was however lower as expected from the test cubes.
- The results of the flexural-strength test did not indicate a general damage of the concrete surface by cracking due to the friction of the formwork against the concrete.
- Slipformed structures with a suitable concrete mix and formwork can attain, without an additional surface finishing, a surface texture comparable with normal in-situ concrete; by waiving the surface finishing considerable economical advantages can be obtained.
- The depths of carbonation of slipformed concrete are not or only slightly higher than it can be expected from in-situ concrete. The usual concrete-cover including the allowance of 0,5 cm according to DIN 1045 is sufficient for slipformed structures.

- Contrary to the present believes crushed aggregates are quite suitable for slipformed structures; with regard to a low depth of carbonation this type of aggregate is superior to the rounded aggregate.

- The use of additives for the concrete can show unfavourable results in slipformed structures.

On the basis of the test results recommendations for the erection of slipformed structures are given.

R é s u m é"Protection à la corrosion de bâtiments
construits avec coffrages glissants"

Une exploitation documentaire des écrits sur la construction avec coffrages glissants, ordonnés selon les recommandations concernant

- la forme des panneaux du coffrage,
- le choix de ciment et de la teneur en ciment,
- le choix des agrégats du béton,
- la consistance du béton et le rapport eau-ciment,
- l'emploi d'adjuvants,
- la mise en place du béton et son compactage,
- la vitesse de glissement,
- le traitement de la surface extérieure du béton

a donné des résultats très différents, en partie contradictoires, concernant les recommandations sur la technologie des coffrages glissants.

Dans le cadre de nos propres essais, nous avons construit 14 murs-éprouvettes en y faisant varier la composition du béton, la vitesse de glissement, les panneaux du coffrage et, en partie, le recouvrement en béton de l'armature. On a mesuré la valeur du frottement entre le coffrage et le béton, de même que les profondeurs de carbonatation survenues après avoir exposé les parois des murs au gaz carbonique (CO_2). La résistance à la compression et la résistance à la traction-flexion du béton ont été déterminées sur des éprouvettes provenant de carottes de sondage. On a de plus porté une appréciation sur la qualité du parement de béton.

Les profondeurs de carbonatation ont été évaluées sur un bâtiment existant, exposé librement aux intempéries.

On peut résumer les principaux résultats de ces recherches de la manière suivante:

- Les béton à granulats ronds, plus riches en sable que ce n'est le cas habituellement (courbe granulométrique C du code DIN 1045), préparés avec du ciment de Portland PZ 35 F provoquent peu de frottements avec le coffrage et de ce fait une usure moindre du coffrage.
- Le levage du coffrage à courts intervalles de temps (15 min. au lieu de 1 H, comme c'est l'usage dans la construction) diminue fortement le frottement du coffrage.
- Il est possible d'obtenir par la méthode des coffrages glissants de hautes qualités de béton. Cependant la résistance à la compression du béton des murs était inférieure à celle à laquelle on pouvait s'attendre d'après les résultats donnés par les éprouvettes cubiques.
- Les résultats d'essais de traction-flexion n'ont pas confirmé le fait qu'il y ait toujours une détérioration de la surface extérieure du béton due à la fissuration par suite du frottement entre béton et coffrage.
- Le parement d'éléments de construction en béton, fabriqués selon la méthode des coffrages glissants, peut, pour une composition appropriée du béton et pour un coffrage adéquat, atteindre une qualité comparable à celle du béton usuel coulé sur place, sans pour autant devoir faire un ragréage ultérieur du béton en surface; le fait de renoncer à un ragréage ultérieur apporte des avantages économiques considérables.

- Les profondeurs de carbonatation du béton obtenu avec la méthode des coffrages glissants ne sont pas ou que peu supérieures à celles auxquelles on peut s'attendre pour du béton coulé sur place. L'épaisseur usuelle de recouvrement de béton, y compris l'augmentation de 0,5 cm conformément au code DIN 1045, est suffisante pour les constructions avec coffrages glissants.
- Contrairement à ce que l'on pensait jusqu'à maintenant, les grains concassés (gravillons) sont, en tant qu'agréats, tout-à-fait appropriés aux constructions avec coffrages glissants. Ils sont même supérieurs aux granulats ronds, pour ce qui est de la diminution des profondeurs de carbonatation.
- L'emploi d'adjuvants et de matériaux d'addition au béton peut avoir un effet néfaste sur les constructions avec coffrages glissants.

A partir des résultats d'essais, on a élaboré des recommandations pour la pratique des travaux concernant l'exécution de constructions selon la méthode des coffrages glissants.

V o r w o r t

Die nachstehend beschriebenen Untersuchungen zum Gleitschalungsbau wurden durch finanzielle Förderung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton sowie durch Spenden mehrerer Baufirmen ermöglicht; darüber hinaus wurden erhebliche Eigenmittel des Instituts eingesetzt.

Die Mitglieder der Beratergruppe, anfangs die Herren

Dipl.-Ing. H. Luchner,
Dipl.-Ing. S. Manleitner,
Dr.-Ing. H. Seiler,

später - im Rahmen der koordinierenden Beratergruppe für den Gleitschalungsbau - zusätzlich die Herren

Dipl.-Ing. R. Drozella (Obmann),
Obering. E. Kern,
Dipl.-Ing. G. Rohlf,
Dr.-Ing. R. Windels,

haben - wie auch viele andere Fachleute aus Ingenieurbüros und Baufirmen - das Vorhaben durch Anregungen und Ratschläge unterstützt.

Der Bau der Versuchswände wurde mit Hilfe der Firma Luck & Co., Braunschweig, die Gleitbausrüstung und Fachpersonal zur Verfügung stellte, durchgeführt.

Die Verfasser danken allen Mitwirkenden.

Braunschweig, Dezember 1983

Bezeichnungen

Lateinische Buchstaben

c_L	Betondeckung der Längsbewehrung
d	Durchmesser der Probezylinder für die Druckfestigkeitsprüfungen
E	Elastizitätsmodul
h	Höhe der Probezylinder für die Druckfestigkeitsprüfungen
k	Verhältniswert, $k = \beta_{BZ} / \beta_D^{2/3}$
R	Raumgewicht des Betons
v	Gleitgeschwindigkeit
w/z	Wasser-Zement-Wert

Griechische Buchstaben

β_{BZ}	Biegezugfestigkeit des Betons
β_C	Zylinderdruckfestigkeit
β_{C100}	Zylinderdruckfestigkeit, Zylinderdurchmesser 100 mm
β_D	Druckfestigkeit des Betons
β_W	Würfeldruckfestigkeit des Betons
β_{W150}	Würfeldruckfestigkeit des Betons, Kantenlänge der Würfel 150 bzw. 200 mm
β_{W200}	

Baustoffbezeichnungen

B	Betongüte
BSt 420/500 RK	Betonrippenstahl gem. DIN 1045 Mindeststreckgrenze 420 N/mm ² Mindestzugfestigkeit 500 N/mm ²
Z	Zement
PZ	Portlandzement
EPZ	Eisenportlandzement
HOZ	Hochofenzement
EFA-Füller	Handelsname für Steinkohle- Flugasche
GFK	Glasfaserverstärker Kunststoff
Mehrschichten- platte	Schalungsplatte aus Sperrholz (Furnierplatte) mit Kunstharz- beschichtung, Handelsname Betoplan u.a.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Aufgabenstellung	1
2. Beschreibung des Gleitbauver- fahrens	3
3. Literatúrauswertung	6
3.1 Allgemeines	6
3.2 Empfehlungen zur Ausbildung der Schalhaut	7
3.3 Empfehlungen zur Wahl der Zement- art und des Zementgehaltes	7
3.4 Empfehlungen zur Wahl der Beton- zuschläge	7
3.5 Empfehlungen zur Betonkonsistenz und zum Wasser-Zement-Wert	8
3.6 Empfehlungen zur Verwendung von Zusatzmitteln, zum Einbringen des Betons und zur Verdichtung	8
3.7 Empfehlungen zur Gleitgeschwindig- keit / erreichbare Gleitgeschwin- digkeit	9
3.8 Empfehlungen zur Oberflächenbe- handlung des Betons	9
3.9 Zusammenstellung mit kurzer In- haltsangabe weiterer Literatur zum Gleitschalungsbau	18
4. Versuchsprogramm	23
4.1 Allgemeines	23
4.2 Wahl der Grundrißform und Größe der Versuchswände	23
4.3 Wahl der Schalungsoberfläche	25
4.4 Wahl der Betonzusammensetzung	25
4.5 Wahl der Gleitgeschwindigkeiten	28
4.6 Zeitwahl für die Versuchsdurch- führung	28

	<u>Seite</u>
4.7	Messung der Schalungsreibung . . . 28
5.	Versuchsdurchführung 29
5.1	Versuchszeitraum 29
5.2	Bei den Versuchen eingesetzte Gleitschalung 29
5.3	Betonzusammensetzung 33
5.4	Bewehrung der Versuchswände . . . 33
5.5	Durchführung der Gleitversuche . . 34
5.6	Durchführung der Schalungsrei- bungsmessung 36
6.	Versuchsergebnisse 37
6.1	Bei der Erstellung der Versuchs- wände aufgetretene Betonschäden . 37
6.1.1	Unzureichende Verankerung der Stirnschalungen der Wände . . . 37
6.1.2	Beschädigungen der Wandoberfläche durch Schalungsverschmutzung . . . 37
6.1.3	Schäden durch Freiziehen der Scha- lung 39
6.1.4	Schäden durch hohe Reibungskräfte zwischen Beton und Schalung . . . 40
6.2	Beurteilung der Betonqualität der Wandoberflächen 41
6.3	Meßergebnisse Schalungsreibung . . 49
6.3.1	Auswertung der Meßergebnisse . . . 49
6.3.2	Einfluß von Kornform und Sieblinie auf die Schalungsreibung 50
6.3.3	Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf die Schalungsreibung 51
6.3.4	Einfluß der Zemente und der Zu- satzmittel auf die Schalungsrei- bung 52
6.3.5	Einfluß der Zeit zwischen den Hub- vorgängen auf die Schalungsreibung 53

	<u>Seite</u>
6.4	Druckfestigkeit und Raumgewicht des Betons der Versuchswände . . . 54
6.4.1	Durchführung der Prüfung 54
6.4.2	Beurteilung der ermittelten Beton- druckfestigkeiten der Versuchs- wände 55
6.5	Biegezugfestigkeit des Betons der Versuchswände 57
6.5.1	Zweck der Prüfung 57
6.5.2	Durchführung der Biegezugprüfung . 57
6.5.3	Auswertung der Biegezugprüfung . . 58
6.5.4	Beurteilung der Ergebnisse der Biegezugprüfung 60
6.6	Karbonatisierung der Versuchswände 63
6.6.1	Allgemeines 63
6.6.2	Bewitterung der Versuchswände . . 64
6.6.3	Messung der Karbonatisierungstiefe 65
6.6.4	Beurteilung der ermittelten Karbo- natisierungstiefen 66
6.6.4.1	Generelle Beurteilung 66
6.6.4.2	Einfluß der Schalungsoberfläche und der Nachbehandlung der Beton- oberfläche auf die Karbonatisie- rungstiefe 68
6.6.4.3	Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf die Karbonatisierungstiefe . . 68
6.6.4.4	Einfluß der Betonzusammensetzung auf die Karbonatisierungstiefe . . 69
6.6.4.5	Einfluß der Größe der Betondeckung auf die Karbonatisierungstiefe . . 71
6.6.5	Modellvorstellung zur Erklärung der Karbonatisierungsspitzen . . . 73
7.	Messung der Karbonatisierungstiefe an ausgeführten Bauwerken 76
7.1	Allgemeines 76
7.2	Durchführung der Messung 76

	<u>Seite</u>
7.3	Ergebnisse der Messung 77
8.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen . 79
9.	Folgerungen aus den Untersuchungen ! und Empfehlungen für die Baupraxis 81
10.	Notwendigkeit weiterer Forschung . 85
	Literaturverzeichnis 87

A n h a n g : Seiten A 1 - A 100

Tabellen: 17 - 40

Bilder: 9 - 51

Fotos: 1 - 64

1. Aufgabenstellung

Die Technologie des Gleitbauverfahrens ist - trotz langjähriger Anwendung in der Praxis - bisher nur selten wissenschaftlich untersucht worden. Die bekannt gewordenen Versuche sollten vor allem Werte für Schalungsreibung und Schalungsdruck zur Auslegung der Gleitbauausrüstung liefern. Bisher werden daher Betonzusammensetzung, Schalungsoberfläche und Gleitgeschwindigkeit im Gleitbau immer noch nach Erfahrungswerten festgelegt. Solange auf Erfahrungen aufgebaut werden kann, ist in der Praxis eine einwandfreie Ausführung sichergestellt. Werden allerdings Gleitschalungsbauten durch weniger erfahrene Firmen durchgeführt oder wird die Technologie, z. B. durch Verwendung von Zusatzmitteln oder ungewöhnliche Gleitgeschwindigkeiten geändert, können sich Mängel einstellen.

Vereinzelte Feststellungen großer Karbonatisierungstiefen an Gleitschalungsbauten gaben Anlaß zu der Befürchtung, daß durch den Gleitvorgang das Gefüge des Betons erheblich gestört werden könnte. Eine Klärung der Frage, inwieweit bestimmte Arbeitsvorgänge zu Gefügebrauchlockerungen des Betons mit nachfolgender tiefreichender Karbonatisierung und Korrosionsschäden an der Bewehrung führen können, erschien dringlich.

Allgemeine Grundsätze des Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken, die sowohl für Ortbe- ton wie auch für in Gleitschalung erstellte Bauteile gelten, werden als bekannt vorausgesetzt (genügend dichter Beton, ausreichende Betondeckung, Begrenzung der Rißbreite). Ziel des Forschungsvorhabens war es, zu untersuchen, wie

trotz des besonderen Bauvorganges beim Gleit-
schalungsbau Stahlbetonbauteile ohne Beschädi-
gung der Betonoberfläche erstellt werden kön-
nen, so daß durch dichte, weitgehend rißfreie
Betonumhüllung der Stahleinlagen deren Korro-
sionsschutz dauerhaft sichergestellt ist.

2. Beschreibung des Gleitbauverfahrens

Da die Besonderheiten des Gleitbauverfahrens nicht als allgemein bekannt vorausgesetzt werden können, erfolgt hier eine kurze Beschreibung des Verfahrens.

!

Als Gleitbauverfahren, auch Gleitbau oder Gleitschalungsbau genannt, wird im folgenden ein Bauverfahren zur Erstellung von Wänden, Stützen bzw. ganzen Bauwerken wie Silos und Türme bezeichnet, bei dem eine ca. 1,20 m hohe Schalung mit Hilfe von Hebegeräten an geeigneten Konstruktionen, meist Kletterstangen, emporgehoben wird, so daß oben Frischbeton eingefüllt werden kann und unten aus der Schalung das fertige Bauteil "austritt". Nicht im Rahmen dieses Versuchsberichts behandelt werden ähnliche Bauverfahren zur Erstellung waagrecht angeordneter Bauteile wie Beton-Fahrbahnplatten, Leitwände an Straßen, Kanalauskleidungen etc.

Bild 1 zeigt den Schnitt durch eine übliche Gleitschalung mit Benennung der Teile.

Gegenüber der Herstellung von Bauwerken in Ortbetonbauweise ergeben sich die folgenden Besonderheiten:

- Die Schalung wird entlang der Betonfläche hochgezogen. Bedingt durch Reibungskräfte oder "Ankleben" der Schalung bei längerer Arbeitspause kann die Betonstruktur beim Heben der Schalung gestört werden; das Entstehen waagerechter Risse ist möglich.
- Der aus der Schalung austretende Beton muß ausreichend standsicher sein, um die Frisch-

betonlast tragen zu können; andererseits soll sich aber auch noch die Oberfläche "im eigenen Saft" abreiben lassen können.

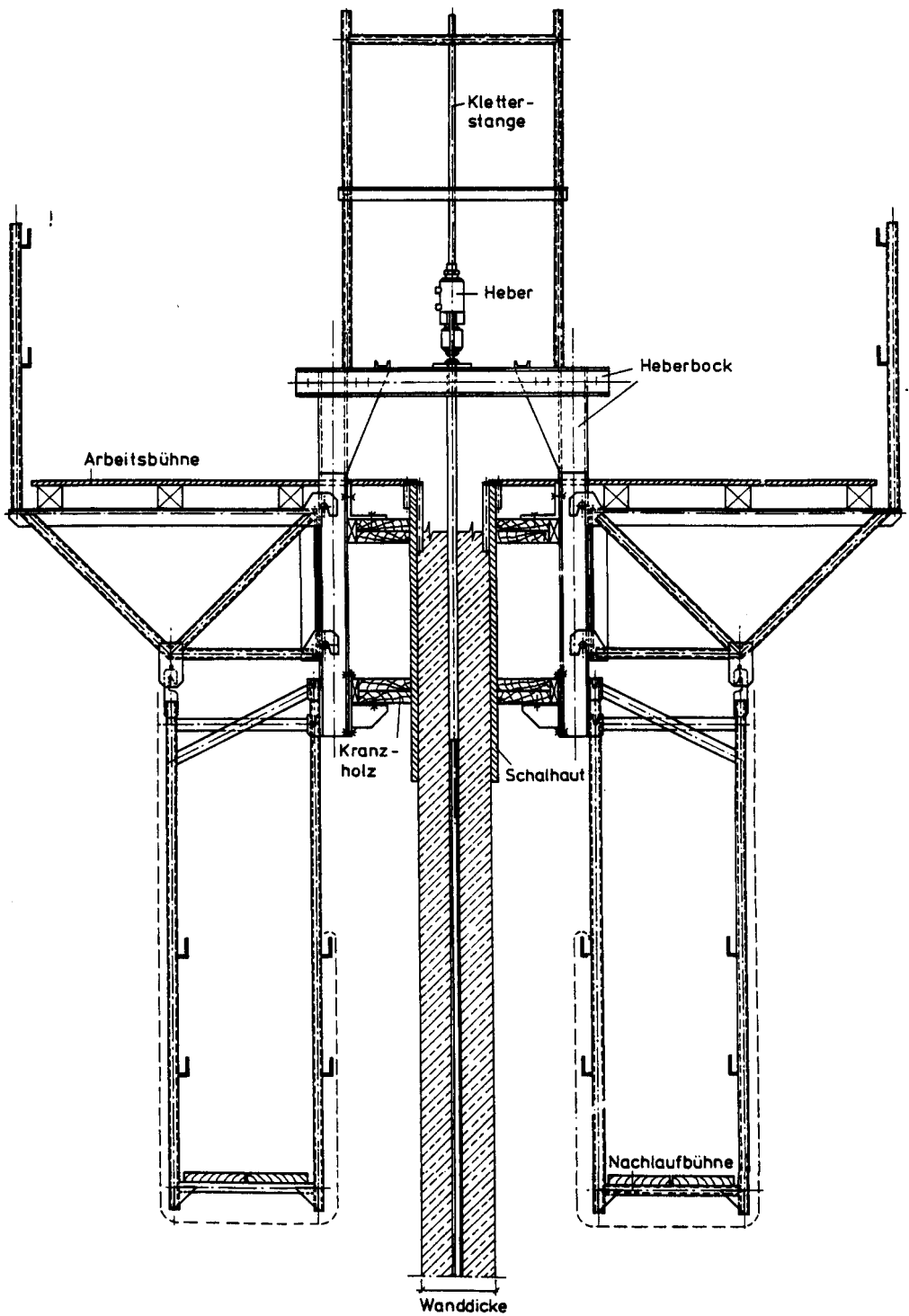


Bild 1

Schnitt durch eine Gleitschalung
mit Benennung der Teile.

3. Literaturauswertung

3.1 Allgemeines

Ausgewertet wurde das in- und ausländische Schrifttum zum Thema Gleitschalung. Die Auswertung ergab z. T. recht widersprüchliche Empfehlungen zur Technologie des Gleitbaus.

Entsprechend der Zielsetzung des Forschungsvorhabens erfolgte die Literaturauswertung im Hinblick auf solche Parameter, die - im Vergleich zur üblichen Ortbetonbauweise - durch die Besonderheiten des Gleitbaus Schäden in der Betonstruktur hervorrufen könnten. Es sind dies die Wahl der Schalhaut, die Betonzusammensetzung und Betonverarbeitung, die Wahl der Gleitgeschwindigkeit sowie die Oberflächenbehandlung des aus der Schalung austretenden Betons. Weitgehend alle Aspekte des Gleitbaus werden in /1/ bis /19/ behandelt; die Auswertung dieser Literatur ist in Tabellenform (Tab. 1 bis 7) nachstehend zusammengestellt. Die Literaturstellen /20/ bis /47/ behandeln jeweils nur Einzelthemen; unter 3.9 erfolgt eine Zusammenstellung mit Kurzangabe des Inhalts.

Baubetriebliche, wirtschaftliche und vermessungstechnische Fragen des Gleitbaus blieben bei dieser Literaturauswertung ebenso unberücksichtigt wie Kurzberichte über ausgeführte Bauten oder Firmenschriften, denen keine oder nur wenige technische Angaben zu entnehmen waren. In der Zusammenstellung wurden weitgehend die Originalformulierungen verwandt; daher ergeben sich z. T. verschiedene Benennungen für gleiche Begriffe (beispielsweise Plast- bzw. Kunststoffbeschichtungen), Sinnentstellungen sind dadurch jedoch nicht zu befürchten. Speziell

Zementbezeichnungen wurden in ihrer ursprünglichen Fassung belassen, da die Angabe einer vergleichbaren Zementsorte mit jetzt gebräuchlicher Bezeichnung kaum möglich ist.

3.2 Empfehlungen zur Ausbildung der Schalhaut

Das übliche Material für die Schalhaut ist gehobelttes Nadelholz in Form einzelner Bretter. Daneben werden Stahl, Mehrschichtenplatten, Aluminium, GFK sowie kunstharzgebundene Platten auf Holzbasis verwendet.

Zusammenstellung der Empfehlungen siehe Tab. 1.

3.3 Empfehlungen zur Wahl der Zementart und des Zementgehaltes

Empfohlen werden übliche Portland- oder Hochofenzemente, wobei Erstarrungsverhalten, Temperatur und Gleitgeschwindigkeit aufeinander abgestimmt werden müssen.

Zusammenstellung der Empfehlungen siehe Tab. 2.

3.4 Empfehlungen zur Wahl der Betonzuschläge

Überwiegend wird die Verwendung von Rundkorn als Betonzuschlag empfohlen oder sogar ausschließlich vorgeschrieben. Dagegen stehen Meinungen, die auch gebrochenes Korn (Splitt) als Zuschlag zulassen, wobei jedoch häufig auf den dann höheren Verschleiß der Schalung hingewiesen wird. Häufig wird empfohlen, den Feinkornanteil der Zuschläge zu erhöhen oder Mehlkorn

zuzusetzen, um durch mehr "Schmierstoff" eine glattere Wandoberfläche zu erzielen.

Zusammenstellung der Empfehlungen siehe Tab. 3.

3.5 Empfehlungen zur Betonkonsistenz und zum Wasser-Zement-Wert

Soweit Empfehlungen zur Konsistenz und zum w/z gemacht wurden, sind keine gravierenden Änderungen gegenüber üblichem Ortbeton festzustellen. Nach Angabe von im Gleitbau tätigen Firmen wird z. Z. überwiegend Beton der Konsistenz K 2 der DIN 1045 verwandt.

Zusammenstellung der Empfehlungen siehe Tab. 4.

3.6 Empfehlungen zur Verwendung von Zusatzmitteln, zum Einbringen des Betons und zur Verdichtung

Neuere Literaturstellen empfehlen meist die Verwendung von Zusatzmitteln zum Beton, um den Erstarrungsverlauf des Betons der Temperatur und der Gleitgeschwindigkeit anzupassen. Lediglich in /12/ wird darauf hingewiesen, daß der Beton innerhalb 100 Minuten nach dem Anmischen verarbeitet sein muß. Nach den Literaturstellen wird noch häufig Handverdichtung (Stampfen bzw. Stochern) angewandt; bauüblich ist nach Angabe von im Gleitbau tätigen Firmen nur noch die Verdichtung mit Innenrüttlern.

Zusammenstellung der Empfehlungen siehe Tab. 5.

3.7 Empfehlungen zur Gleitgeschwindigkeit / erreichbare Gleitgeschwindigkeit

Überwiegend wird darauf hingewiesen, daß die Gleitgeschwindigkeit von der Temperatur und dem Erstarrungsverhalten des Betons abhängen. Als Kriterium für die richtige Gleitgeschwindigkeit dient entweder die Druckfestigkeit des aus der Schalung austretenden Betons, wobei Werte von 1,0 bis 2,0 N/mm² gefordert werden, oder die Forderung, daß die Oberfläche des austretenden Betons noch leicht abzureiben ist. Während nach älteren Literaturstellen Gleitgeschwindigkeiten von höchstens 20 cm/h erreicht werden können, nennen neuere Veröffentlichungen Werte bis zu 70 cm/h.

Zusammenstellung der Empfehlungen siehe Tab. 6.

3.8 Empfehlungen zur Oberflächenbehandlung des Betons

Überwiegend wird das Abreiben der Betonoberfläche "im eigenen Saft" gefordert, um eine glatte Oberfläche zu erzielen und die beim Gleitvorgang entstandenen Risse im Beton wieder zu schließen. Dagegen wird nach /2/, /17/ und /19/ die Betonoberfläche durch den Gleitvorgang selbst geglättet und gedichtet, so daß keine oder wenig Nachbehandlung erforderlich ist.

Der Schutz des jungen Betons gegen frühzeitiges Austrocknen mit Bildung von Schwind- oder Schrumpfrissen wird allgemein empfohlen; vorzusehen sind das Abhängen der Nachlaufbühne der Schalung mit Tüchern, Berieseln des Betons mit Wasser oder ähnliche Maßnahmen. Da es sich

nicht um gleitbautypische Maßnahmen handelt,
wird hier auf eine Zusammenstellung verzichtet.

Zusammenstellung der Empfehlungen siehe Tab. 7.

!

Böhm "Gleitschalungen" /1/	1,20 m hoch 25 - 30 mm dicke Holzbretter, beidseitig gehobelt zweimal mit säurefreiem Mineralöl eingelassen
Drechsel "Gleitschalung" /2/	max. 1,25 m hoch 24 - 30 mm dicke Holzbretter, harzreich, geölt oder (nicht empfohlen) 3 mm dicke Stahlbleche
Zaunsell "Gleitbauweise" /3/	1,20 m hoch gehobelte Holzbretter besser Holz mit Kunststoffüberzug (Belasit) oder Stahlblech (zähelastisch, weitestgehend rostfrei)
Braun/Förner/Röhling "Gleitschalungen" /4/	1,10 - 1,20 m hoch, bei Winterbau evtl. höher 26 - 30 mm dicke trockene Fichtenholzbretter, gehobelt oder Sperrholz, evtl. oberflächenvergütet durch Plastbeschichtung oder 0,8 - 2 mm dickes Stahlblech (zäh, elastisch, weitgehend korrosionsfest) oder rostfreier Stahl oder Plastfolien aus Hartplast bzw. glasfaserverstärktem Plast oder 3 mm dicke Hartfaserplatten, oberflächenvergütet
Batterham "Slipform Concrete" /5/	1,20 m hoch 25 mm dicke Holzbretter, gehobelt oder Stahlblech oder GFK
Dinescu/Sandru/ Radulescu "Coffrages Glissants" /6/	1,0 - 1,4 m hoch (üblich 1,15 - 1,20 m) 28 mm dicke Holzbretter, gehobelt oder 0,4 - 0,5 mm Stahlblech auf 24 - 28 mm Holz oder 15 - 18 mm dicke Mehrschichtenplatte (Sperrholz) oder 2 - 4 mm Stahlblech
D B V "Merkblatt Gleitbauverfahren" /7/	keine Angaben
- TGL 118 - 0358 /8/	1,20 m hoch Holzbretter, gehobelt und mit Öl getränkt
A C I "Concrete Bins, Silos, Bunkers" /9/	keine Angaben
A C I "Concrete Formwork" /10/	1,07 m (3 ft 6 in) hoch 24 mm (1") dicke Holzbretter oder 16 mm (5/8") dicke Mehrschichtenplatte (Sperrholz) oder 2,5 mm dickes Stahlblech oder anderes geeignetes Material
Commission technique "Coffrages glissants" /11/	Für Schalungshöhe keine Angabe. Gehobelte Bretter oder Mehrschichtenplatte (Sperrholz), auch mit vergüteter Oberfläche oder Metallbleche. Für das Anfahren der Schalung ist ein Trennmittel zu verwenden.
Selfalagh u.a. "Coffrages glissants" /12/	1,0 - 1,25 m hoch Holzbretter, gehobelt Mehrschichtenplatte (Sperrholz), auch mit Kunstharzbeschichtung oder Holzschalung mit Blechbelag. Für das Anfahren der Schalung ist ein Trennmittel zu verwenden.
Ahl & Co. "Gleitbau-Merkblätter" /13/	keine Angaben Die Firma Ahl & Co. benutzt sowohl Holz- wie auch Stahlschalungen.
Camellerie "Slip-form" /14/	1,07 - 1,22 m (3 ft 6 in - 4 ft) hoch, bei hohen Gleitgeschwindigkeiten bis 1,83 m (6 ft) hoch Holzbretter
Pieper "Gleitbau" /15/	keine Angaben
Hurd "Formwork" /16/	1,07 - 1,22 m (3 ft 6 in - 4 ft) hoch, bei hohen Gleitgeschwindigkeiten oder im Winter bis 1,83 m (6 ft) hoch sonst wie /10/
Reimbert/Reimbert "Silos" /17/	1,25 m hoch 30 mm dicke Holzbretter, laufend geölt
Timm/Windels "Silos" /18/	1,0 - 1,5 m hoch sonst keine Angaben
Solotnitzki "Bauproduktion" /19/	1,20 m hoch sonst keine Angaben

Böhm "Gleitschalungen" /1/	Z 225, in der kalten Jahreszeit Z 325
Drechsel "Gleitschalung" /2/	üblicher Portlandzement, Spezialzement bringen keine Vorteile Zementgehalt 300 - 350 kg/m ³ Frischbeton
Zaumseil "Gleitbauweise" /3/	im Sommer HOZ oder EPZ im Winter und in den Übergangsmonaten PZ
Braun/Förner/Röhling "Gleitschalungen" /4/	Vorrangig sind schnell abbindende Zemente zu verwenden, in der heißen Jahreszeit mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung in der kalten Jahreszeit mit hoher " " " Mindestzementmenge 300 kg/m ³ Beton
Batterham "Slipform Concrete" /5/	Eignungsprüfung erforderlich, sonst keine Angaben
Dinescu/Sandru/ Radulescu "Coffrages Glissants" /6/	Eignungsprüfung erforderlich üblich PZ 400, für Betongüte > B 300 PZ 500 bei Frost Zemente mit hoher Anfangsfestigkeit (HRI 200/HRI 250) Zementgehalt 260 - 400 kg/m ³ Beton (für B 150 - B 300)
D & V "Merkblatt Gleitbauverfahren" /7/	Eignungsprüfung erforderlich, sonst keine Angaben
- TGL 118 - Q358 /8/	350 kg Zement/m ³ Beton bei w/z = 0,44 - 0,50 300 kg Zement/m ³ Beton bei w/z = 0,51 - 0,58 damit mindestens Betongüte B 225 erreichbar
A C I "Concrete Bins, Silos, Bunkers" /9/	keine Angaben
A C I "Concrete Formwork" /10/	keine Angaben
Commission technique "Coffrages glissants" /11/	Zemente mit regelmäßiger Abbindekurve, empfohlen Klasse 325
Selfslagh u.a. "Coffrages glissants" /12/	Zemente mit regelmäßiger Abbindekurve empfohlen P 40 bei Temperatur von 20 ° C empfohlen P 50 bei Temperatur von < 5 ° C Zement muß mindestens 15 Tage alt sein.
Ahl & Co. "Gleitbau-Merkblätter" /13/	empfohlen PZ 275, bei Kälte, hohen Bauwerken und hoher Gleitgeschwindigkeit PZ 375
Camellerie "Slip-form" /14/	wie bei üblichen Bauwerken, nur bei hohen Gleitgeschwindigkeiten oder im Winter Besonderheiten (ohne nähere Angabe)
Pieper "Gleitbau" /15/	Eignungsprüfung erforderlich, sonst keine Angaben
Hurd "Formwork" /16/	keine Angaben
Reimbert/Reimbert "Silos" /17/	in einem Fall 350 kg Zement/m ³ Beton erwähnt, sonst keine Angaben
Timm/Windels "Silos" /18/	Eignungsprüfung erforderlich, sonst keine Angaben
Solotnitzki "Bauproduktion" /19/	keine Angaben

Tabelle 2
Literaturangaben zur Wahl der Zementart und
des Zementgehalts bei Gleitbauten.

Böhm "Gleitschalungen" /1/	Nur Fundkorn verwenden, Größtkorndurchmesser 30 mm. Zuschläge sandreicher als sonst üblich. Genügende Menge Feinstsand (ohne nähere Angabe). Ausfallkörnungen nicht brauchbar.
Drechsel "Gleitschalung" /2/	Sieblinie im günstigen Bereich gem. DIN 1045 Verwendung von Splitt möglich. Bei Wanddicken < 18 cm Größtkorn 20 mm, sonst abhängig von der Wanddicke (ohne nähere Angabe).
Zaumseil "Gleitbauweise" /3/	Rundkörnige Zuschläge günstiger als Splitt. Kornanteil 0 - 1 mm durch Zugabe von Quarzmehl erhöhen. Feinstanteil an der Körnung 1 - 5 %.
Braun/Förner/Röhling "Gleitschalungen" /4/	Bevorzugt rundkörnige Zuschläge zu verwenden. Sieblinie im besonders guten Bereich, um ausreichend Feinstkornanteil im Beton zu haben.
Batterham "Slipform Concrete" /5/	Hoher Feinkornanteil erforderlich.
Dinescu/Sandru/ Radulescu "Coffrages Glissants" /6/	Zuschläge nur aus Flüssen oder Kiesgruben, keine plattigen oder gebrochenen Zuschläge verwenden. Kornform: Breite/Länge > 0,66 Dicke/Länge > 0,33 Größtkorn 1/5 - 1/7 der Wanddicke, jedoch < 30 mm. Empfohlene Sieblinie liegt zw. den Siebl. A und B der DIN 1045. Ausreichend (ohne Mengenangabe) Korn < 0,2 mm erforderlich.
D B V "Merkblatt Gleitbauverfahren" /7/	keine Angaben
TGL 118 - 0358 /8/	Zuschläge sollen nicht scharfkantig sein. Genügende Menge (ohne nähere Angabe) Feinstsand von 0 - 0,2 mm Durchmesser.
A C I "Concrete Bins, Silos, Bunkers" /9/	Größtkorn < 1/8 der Wanddicke bzw. < 3/8 des lichten Abstands der Bewehrungsstähle.
A C I "Concrete Formwork" /10/	keine Angaben
Commission technique "Coffrages glissants" /11/	Zuschläge vorzugsweise rundkörnig. Feinstanteil der Mischung erhöhen, wenn gute Betonoberfläche angestrebt wird.
Selfslagh u.a. "Coffrages glissants" /12/	Zuschläge vorzugsweise rundkörnig. Gebrochenes Korn bei gedrungener Kornform möglich (keine plattigen Körner). Größtkorn 1/5 - 1/7 der Wanddicke, jedoch < 30 mm. Anteil Feinstbestandteile (ohne Mengenangabe) und Sandanteil (um 5 - 10 %) der Körnung erhöhen.
Ahl & Co. "Gleitbau-Merkblätter" /13/	Rundkörnigen Kies verwenden, Größtkorn 30 mm. Ausfallkörnungen haben sich gut bewährt. Sieblinie im günstigen Bereich gem. DIN 1045 Zusatz von Mehlkorn (Quarzmehl, Traß, EPA-Füller o.ä.) erforderlich.
Camellerie "Slip-form" /14/	Übliche Betonzusammensetzung. Größtkorn < 3/4" bei Wanddicken < 8" Größtkorn < 1" bei Wanddicken von 8" bis < 12".
Pieper "Gleitbau" /15/	Zuschläge mit möglichst abgerundetem Korn
Hurd "Formwork" /16/	keine Angaben
Reimbert/Reimbert "Silos" /17/	In einem Fall Splitt als Grobzuschlag erwähnt, sonst keine Angaben.
Timm/Windels "Silos" /18/	keine Angaben
Solotnitzki "Bauproduktion" /19/	keine Angaben

Tabelle 3
Literaturangaben zur Wahl der Betonzuschläge
bei Gleitbauten.

Böhm "Gleitschalungen" /1/	Beton steifer als gewöhnlich für Stahlbeton, nur schwach plastischen Beton verwenden. Setzmaß von 6 - 8 cm am günstigsten.
Drechsel "Gleitschalung" /2/	Konsistenz plastisch weich, aber nicht flüssig.
Zaumseil "Gleitbauweise" /3/	Konsistenz steifplastisch w/z = 0,45 - 0,55
Braun/Fornax/Röhling "Gleitschalungen" /4/	keine Angaben
Batterham "Slipform Concrete" /5/	keine Angaben
Dinescu/Sandru/ Radulescu "Coffrages Glissants" /6/	Ausbreitmaß je nach Art der Verdichtung und der Temperatur zwischen 40 - 45 cm (Verdichtung mit Rüttlern) bzw. zwischen 42 - 48 cm (Verdichtung durch Stochern).
D B V "Merkblatt Gleitbauverfahren" /7/	keine Angaben
- TGL 118 - 0358 /8/	w/z = 0,44 - 0,58, abhängig vom Zementgehalt
A C I "Concrete Bins, Silos, Bunkers" /9/	Slump 10 ± 2,5 cm
A C I "Concrete Formwork" /10/	keine Angaben
Commission technique "Coffrages glissants" /11/	keine Angaben
Selfslagh u.a. "Coffrages glissants" /12/	Konsistenz abhängig von Temperatur und Verdichtungsart (Tabelle 6, S. 33 in /12/). Wassergehalt besser höher als sonst üblich (zuviel Wasser fließt ab).
Ahl & Co. "Gleitbau-Merkblätter" /13/	Konsistenz K2 gem. DIN 1045 w/z = 0,55 - 0,70, anzustreben ist w/z = 0,60
Camellerie "Slip-form" /14/	Slump 3 - 6", abhängig von Temperatur, Wanddicke, Bewehrung und Gleitgeschwindigkeit
Pieper "Gleitbau" /15/	keine Angaben
Hurd "Formwork" /16/	keine Angaben
Reimbert/Reimbert "Silos" /17/	In einem Fall Setzmaß 5,5 cm (30 cm Kegel) erwähnt, sonst keine Angabe über Baustellenbetone.
Timm/Windels "Silos" /18/	keine Angabe
Solotnitzki "Bauproduktion" /19/	keine Angabe

Böhm "Gleitschalungen" /1/	Verdichtung durch Stochern.
Drechsel "Gleitschalung" /2/	Anwendung von Zusatzmitteln zur besseren Verarbeitbarkeit des Betons möglich. Handverdichtung, bei dicken Wänden durch Innenrüttler.
Zaumseil "Gleitbauweise" /3/	Zusatzmittel möglich, aber besser vermeiden. Stattdessen Abbindebeschleunigung durch Verwendung frischen Zements oder Anwärmen von Zuschlag und Anmachwasser. Verdichtung durch Innenrüttler.
Braun/Förner/Röhling "Gleitschalungen" /4/	Bei hohen Außentemperaturen Abbindeverzögerer. Verdichtung durch Innenrüttler.
Batterham "Slipform Concrete" /5/	Anwendung von Zusatzmitteln möglich.
Dinescu/Sandru/ Radulescu "Coffrages Glissants" /6/	Anwendung von Zusatzmitteln nach Eignungsversuch möglich. Einbringen des Betons < 1 Std. nach Mischen, auf jeden Fall vor Erstarrungsbeginn. Beton lagenweise (10 - 20 cm) einbringen. Verdichtung von Hand oder durch Innenrüttler.
D B V "Merkblatt Gleitbauverfahren" /7/	keine Angaben
TGL 118 - 0358 /8/	Handverdichtung (Stochern) oder durch Innenrüttler.
A C I "Concrete Bins, Silos, Bunkers" /9/	Anwendung von Zusatzmitteln (Beschleuniger, Verzögerer) möglich. Verdichtung durch Innenrüttler.
A C I "Concrete Formwork" /10/	keine Angaben
Commission technique "Coffrages glissants" /11/	Anwendung von Zusatzmitteln (Verflüssiger) nach Eignungsversuchen möglich. Verdichtung durch Innenrüttler.
Selfslagh u.a. "Coffrages glissants" /12/	Anwendung von Zusatzmitteln nach Eignungsversuchen möglich. Beton muß innerhalb 100 Minuten nach Anmischen verarbeitet sein. Verdichtung von Hand oder durch Innenrüttler.
Ahl & Co. "Gleitbau-Merkblätter" /13/	Anwendung von Zusatzmitteln kann zweckmäßig sein.
Camellerie "Slip-form" /14/	Erstarrungsverlauf durch Eiszusatz bzw. angewärmtes Anmachwasser steuern. Verdichtung durch Innenrüttler (zu bevorzugen) oder durch Stochern.
Pieper "Gleitbau" /15/	Anwendung von Zusatzmitteln (Abbindeverzögerer) nach Eignungsversuchen möglich. Verdichtung muß sorgfältig ausgeführt werden (ohne Angabe der Art).
Hurd "Formwork" /16/	keine Angaben
Reimbert/Reimbert "Silos" /17/	Beton darf gerüttelt werden, jedoch nicht ausdrücklich empfohlen.
Timm/Windels "Silos" /18/	Beton ist sorgfältig einzubringen und zu verdichten (ohne Angabe der Art).
Solotnitzki "Bauproduktion" /19/	keine Angaben

Tabelle 5
Literaturangaben zur Verwendung von Zusatzmitteln, zum Einbringen des Betons und zur Verdichtung bei Gleitbauten.

Böhm "Gleitschalungen" /1/	Gleitgeschwindigkeit ≤ 15 cm/h, bis über 20 cm/h nur bei hochsommerlichen Temperaturen und überdurchschnittlich rasch erhärtendem Zement.
Drechsel "Gleitschalung" /2/	Gleitgeschwindigkeit im Sommer 20 cm/h und mehr, bei kaltem Wetter ≥ 10 cm/h.
Zeumseil "Gleitbauweise" /3/	Gleitgeschwindigkeit festgelegt durch Kapazitätsgrenzen für Beton- und Stahleinbau, erreichbar max. ca. 4 m/Tag.
Braun/Förner/Röhling "Gleitschalungen" /4/	Gleitgeschwindigkeit abhängig von der Betontemperatur (Funktion auf S. 170 in /4/), erreichbar max. ca. 4 m/Tag.
Batterham "Slipform Concrete" /5/	Gleitgeschwindigkeit von Betonzusammensetzung und Lufttemperatur abhängig (ohne nähere Angaben). Erwähnt bis zu 45 cm/h.
Dinescu/Sandru/ Radulescu "Coffrages Glissants" /6/	Gleitgeschwindigkeit abhängig von Temperatur und Zementart. Minimalwert 5 cm/h, Maximalwert 25 cm/h (in Extremfällen bis 70 cm/h) bei Temperaturen über 15 °C. Übliche Gleitgeschwindigkeiten liegen zwischen 10 und 20 cm/h.
D B V "Merkblatt Gleitbauverfahren" /7/	Gleitgeschwindigkeit abhängig von Verarbeitungszeit, Konsistenz des Betons, Temperatur- und Witterungsverhältnissen (ohne nähere Angabe).
- TGL 118 - O358 /8/	Gleitgeschwindigkeit von der Standfestigkeit des abbindenden Betons sowie den Witterungsverhältnissen bestimmt. Erfahrungswert 15 - 20 cm/h.
A C I "Concrete Bins, Silos, Bunkers" /9/	Gleitgeschwindigkeit vom Erstarrungsverhalten des Betons abhängig (aus der Schalung austretender Beton muß Regensturmüberstehen können), sonst keine näheren Angaben.
A C I "Concrete Formwork" /10/	Gleitgeschwindigkeit von Betonart und Witterung abhängig (ohne nähere Angabe).
Commission technique "Coffrages glissants" /11/	Gleitgeschwindigkeit von Zement, Beton- und Lufttemperatur abhängig (ohne nähere Angabe).
Selfslagh u.a. "Coffrages glissants" /12/	Gleitgeschwindigkeit 10 - 20 cm/h, abhängig von der Erhärtungsgeschwindigkeit des Betons.
Ahl & Co. "Gleithau-Merkblätter" /13/	Gleitgeschwindigkeit > 15 cm/h ist einzuhalten. Ausgeführt bis 46 cm/h.
Camellerie "Slip-form" /14/	Gleitgeschwindigkeit 15 - 46 cm/h.
Pieper "Gleithau" /15/	keine Angaben
Hurd "Formwork" /16/	Gleitgeschwindigkeit bis 46 cm/h, in Zukunft vermutlich noch höher.
Reimbert/Reimbert "Silos" /17/	Mittlerer Praxiswert der Gleitgeschwindigkeit 20 cm/h.
Timm/Windels "Silos" /18/	Normale Gleitgeschwindigkeit 8 - 17 cm/h, Spitzenleistungen bis 25 cm/h.
Solotnitski "Bauproduktion" /19/	Größte Gleitgeschwindigkeit bei gutem Wetter 12,5 cm/h.

Tabelle 6
Literaturangaben zur Gleitgeschwindigkeit bei
Gleitbauten.

Böhm "Gleitschalungen" /1/	Anstrich mit Zementschlempe oder Putz.
Drechsel "Gleitschalung" /2/	Betonflächen werden durch Gleitvorgang von selbst geglättet und verdichtet, nachträgliche Behandlung kaum erforderlich.
Zaumseil "Gleitbauweise" /3/	Betonoberfläche durch Abreiben im eigenen Saft oder Filzen schließen.
Braun/Fornar/Röhling "Gleitschalungen" /4/	Betonoberfläche im eigenen Saft verreiben oder filzen.
Batterham "Slipform Concrete" /5/	Betonoberfläche abreiben (ohne nähere Angabe).
Dinescu/Sandru/ Radulescu "Coffrages Glissants" /6/	Fehlstellen der Betonoberfläche mit Beton ausbessern. Abbürsten mit Zementmilch oder -mörtel oder Aufbringen einer dünnen Mörtelschicht oder Putz.
D B V "Merkblatt Gleitbauverfahren" /7/	Beim Gleiten entstandene waagerechte Risse dürfen nicht zugerieben, sondern müssen fachgerecht geschlossen werden (evtl. Zementleim- oder Epoxidharzinjektion).
- TGL 118 L 0358 /8/	Schlämmen der Betonflächen.
A C I "Concrete Bins, Silos, Bunkers" /9/	Ausbessern der Fehlstellen in der Betonfläche (ohne nähere Angabe).
A C I "Concrete Formwork" /10/	keine Angaben
Commission technique "Coffrages glissants" /11/	Fehlstellen mit Mörtel ausbessern. Abreiben der Betonoberfläche, um feine Risse zu schließen.
Selfslagh u.a. "Coffrages glissants" /12/	Große Fehlstellen mit Beton ausbessern (Einschalen, Beton rütteln). Sonst wie /11/.
Ahl & Co. "Gleitbau-Merkblätter" /13/	Verreiben oder Verstreichen des aus der Gleitschalung austretenden Betons.
Camellerie "Slip-form" /14/	"float and brush-finish"
Pieper "Gleitbau" /15/	Nachreiben des Betons.
Hurd "Formwork" /16/	"float and brush-finish"
Reimbert/Reimbert "Silos" /17/	Durch Auf- und Abbewegen der Schalung wird glatte Oberfläche erzielt (10 mm Heben, 5 mm Absinken der Schalung).
Timm/Windels "Silos" /18/	Schließen der 2 - 3 cm tiefen Rillen, die die Gleithaken (Abstandshalter der Bewehrung) hinterlassen haben, durch Reiben.
Solotnitzki "Bauproduktion" /19/	Betonoberflächen werden durch Gleitvorgang von selbst geglättet und gedichtet, Nachbehandlung kaum erforderlich.

Tabelle 7
 Literaturangaben zur Oberflächenbehandlung des
 Betons bei Gleitbauten.

3.9 Zusammenstellung mit kurzer Inhaltsangabe weiterer Literatur zum Gleitschalungsbau

- | | |
|-----------------------------------|---|
| /20/ o. V. | DYWIDAG-Berichte, Heft 2,
Gleit- und Kletterbau-
weisen. |
| ! | Beschreibung der DWIDAG-
Gleitschalungsverfahren.
Einsatz der Gleitscha-
lung bei den verschiede-
nen Bauobjekten. |
| /21/ o. V. | Hochtief-Nachrichten,
Mai 1974, Gleitschalung. |
| 121 | Beschreibung des Gleit-
geräts Hochtief,
Beispiele ausgeführter
Bauten. |
| /22/ Barth, R.
Guratzsch, A. | Gleitbauweise bei Bun-
kerbauten in Großkraft-
werken. |
| | Bau eines Kohlebunkers
im Gleitbau. Beschrei-
bung der Gleitbauausrü-
stung und des Bauablaufs.
Angabe der Betonzusam-
mensetzung und der er-
reichten Betonfestigkeit. |
| /23/ Bartke, R.
Neumann, O.-M. | Leichtbeton im Gleitbau. |
| | Beschreibung des Bauvor-
gangs eines ausgeführten
Objekts, Angabe des Be-
tonrezepts, der erreich-
ten Betonfestigkeiten
und der erreichten Gleit-
geschwindigkeiten. |
| /24/ Bönninghausen, M. | Zentralschornstein der
Erdöl-Raffinerie Duis-
burg. |
| | Angabe des Betonrezepts
(Ausfallkörnung) und der
erreichten Betonfestig-
keiten. |

- /25/ Braun, J. Erkenntnisse des Gleit-
baus bei Hochhäusern in
Leipzig und Jena.
- Wände von zwei Hochhäu-
sern im Gleitbau er-
stellt. Konstruktion der
Hubrahmen, Lastannahmen,
Beschreibung des Bau-
ablaufs.
- /26/ Dietrich, K. Dynamisch-kalkulatori-
scher Verfahrensver-
gleich zweier Ortbeton-
bauverfahren für Natur-
zugkühlerschalen.
- Kostenvergleich zwischen
Gleit- und Kletterscha-
lung bei Herstellung von
Naturzugkühlerschalen.
- /27/ Ellison, J.C. Slipform Construction of
Concrete Nuclear Shield
Walls.
- Betonrezept, Hinweise
für Betonverarbeitung,
Ausbildung der Gleit-
schalung.
- /28/ Fisher, G.H. Concrete Set Control for
Vertical Slipforming.
- Überprüfung des Erstar-
ungsverhaltens, Hinweis
auf zweckmäßigen Zeit-
punkt zum Heben der
Schalung.
- /29/ Forner, G. Hyperbolische Großkühl-
türme im Gleitbau.
- Konstruktion der HP-
Gleitschalung, Beschrei-
bung ausgeführter Bauten.
- /30/ Hilgard, G. Zement-Doppelrundsilo im
Zementwerk Schwelgern.
- Beschreibung des Bau-
werks. Angabe des Beton-
rezepts und der erreich-
ten Betonfestigkeit.

- /31/ Ingvarsson, H. Concrete strenth of a
slipform concreted
structure.
- Feststellung des Festig-
keitsverlaufs des Betons
von der Oberfläche ins
Bauteilinnere an ausge-
führten Brückenpfeilern.
- /32/ Kern, E. Gleitschalungsarbeiten
im Industrie- und Büro-
hochhausbau.
- Beschreibung der Ausfüh-
rung der Gleitbauweisen
eines Hochregallagers,
Treppenhauskerne eines
Klinikums, Wände des Ma-
schinenhauses eines
Kraftwerks, Treppenhaus-
kern eines Hotel- und
Bürohochhauses.
- /33/ Kohout, K. Analyse der bei der Ver-
Procházka, F. wendung von Gleitscha-
lung entstehenden Fehler
und deren Beseitigung.
- Diskussion möglicher
Fehlermöglichkeiten bei
der Ausführung von
Gleitbauten.
- /34/ Lauer, L.R. Concrete Proportioning
Rigby, R.J. and Control for the
"Skylon".
- Beschreibung des Bau-
werks, Angabe des Beton-
rezepts und der Maßnah-
men zur Gütesicherung.
- /35/ Lindner, H. Gleitschalung -
Entwicklung und derzei-
tige Möglichkeiten ihrer
Anwendung.
- Entwicklung der Gleit-
schalung, Aufbau und Zu-
sammenwirken der Gleit-
schalungskonstruktion,
zusätzliche Vorkehrungen
und Maßnahmen bei Arbei-
ten mit Gleitschalung,
Anwendung der Gleitscha-
lung bei einigen spe-
ziellen Bauausführungen.

/36/ Luchner, H.

Anwendung der Gleitschalung beim Bau von Getreidesilos in Saudi-Arabien.

Ursachen für Schäden an Silobauten, Beschreibung des Bauablaufs der Silos.

/37/ Martens, P.

Die Oberflächenbehandlung von Stahlbetonsilos.

Beschreibung des Gleitbauverfahrens, Oberflächenbehandlung der Wände (Filzen, Anstriche), Verschleiß und Abrieb, Betonrisse - Betondeckung - Klima, Karbonatisierung, Maßnahmen gegen Zerfall der Betonoberfläche.

/38/ Migliacci, A.
Gerosa, G.

Su alcuni problemi relativi alle strutture in c.a. die alte ciminiere.

Umfassende Darstellung der Probleme beim Bau hoher Stahlbetonschornsteine. Gleitbauverfahren, Gleitgeschwindigkeit, Erhärtungsverlauf des Betons.

/39/ Nenning, E.

Les coffrages glissants mode de construction rapide.

Beschreibung verschiedener Gleitbauverfahren, Erhärtungsverlauf des Betons für verschiedene w/z-Werte und Temperaturen, Schalungsdruck, Ausführungsdetails, Beispiele ausgeführter Bauten.

/40/ Niemeyer, W.
Unverdorben, H.

Hochregallager im Gleitbauverfahren.

Beschreibung des Bauwerks und des Bauablaufs. Durchführung der Eignungsversuche, Betonrezept. Überwachung der Betongüte.

- /41/ Pieper, K.
Wenzel, F. Aktuelle Fragen des Entwurfs, der Belastung, der Berechnung und der Bauausführung von Silozellen.
- Diskussion der Besonderheiten der Ausführung von Silos im Gleitbauverfahren. Empfehlungen für Bewehrung und Betondeckung.
- /42/ Reichverger, Z. The relationship between the various parameters influencing slip form concreting.
- Versuche zur Feststellung von Schalungsdruck und -reibung für verschiedene Schalungsoberflächen, Gleitgeschwindigkeiten, Temperaturen und Arten der Verdichtung des Betons.
- /43/ Reichverger, Z. Interaction of casting and mould surfaces in slip-form technology.
- Auszug aus /42/.
- /44/ Reichverger, Z.
Jaegermann, C. Friction and pressure of concrete in slip-form concreting.
- Darstellung der Ergebnisse aus /42/.
- /46/ Steinicke, M.
Prokopowicz, J.
Bach, W. Experimentelle Untersuchung des Schalungsdrucks und der Schalungsreibung bei Gleitschalungen.
- Versuche zur Festlegung der Belastungsansätze und zur Bemessung von Gleitschalungskonstruktionen.
- /47/ Stoffregen, U.
Dorn, A. Konstruktion und Ausführung eines 275 m hohen Industrie-Schornsteins.
- Beschreibung des Bauwerks und des Bauablaufs. Angabe des Betonrezepts und der erreichten Festigkeiten.

4. Versuchsprogramm

4.1 Allgemeines

Das ursprüngliche Versuchsprogramm sah vor, im Rahmen orientierender Laborversuche Wechselwirkungen zwischen Schalungsrauhigkeit, Gleitgeschwindigkeit, Verdichtungsarbeit und Verdichtungswilligkeit des Betons zu untersuchen. Die Beratergruppe und die um Stellungnahme gebetenen Fachfirmen und Fachleute des Gleitschalungsbaus äußerten jedoch starke Bedenken gegen Laborversuche, die nicht geeignet schienen, die Verhältnisse bei tatsächlich ausgeführten Bauten zu erfassen. Das Versuchsprogramm wurde daraufhin auf Versuche im anwendungsnahen Maßstab unter Baustellenbedingungen umgestellt. Dankenswerterweise konnten mit Zustimmung des Staatshochbauamts I Braunschweig Teile der Kellerwände eines Institutsneubaus der TU Braunschweig in Gleitschalung erstellt werden. Trotz der dabei entstandenen Schwierigkeiten (zeitliche Einbindung in den Bauprozess mit starker Verzögerung der Versuchsdurchführung, einige Wandoberflächen später nicht mehr zugänglich) muß festgestellt werden, daß nur die Kostenentlastung durch Einsparung einer gesonderten Gründung, Vermeidung von Abbruchkosten und Mitbenutzen der Baustelleneinrichtung die Versuchsdurchführung in diesem Umfang finanziell überhaupt erst ermöglicht hat.

4.2 Wahl der Grundrißform und Größe der Versuchswände

Einzelne, im Grundriß linienförmige Wände sind bei Erstellung in Gleitschalung stark rißge-

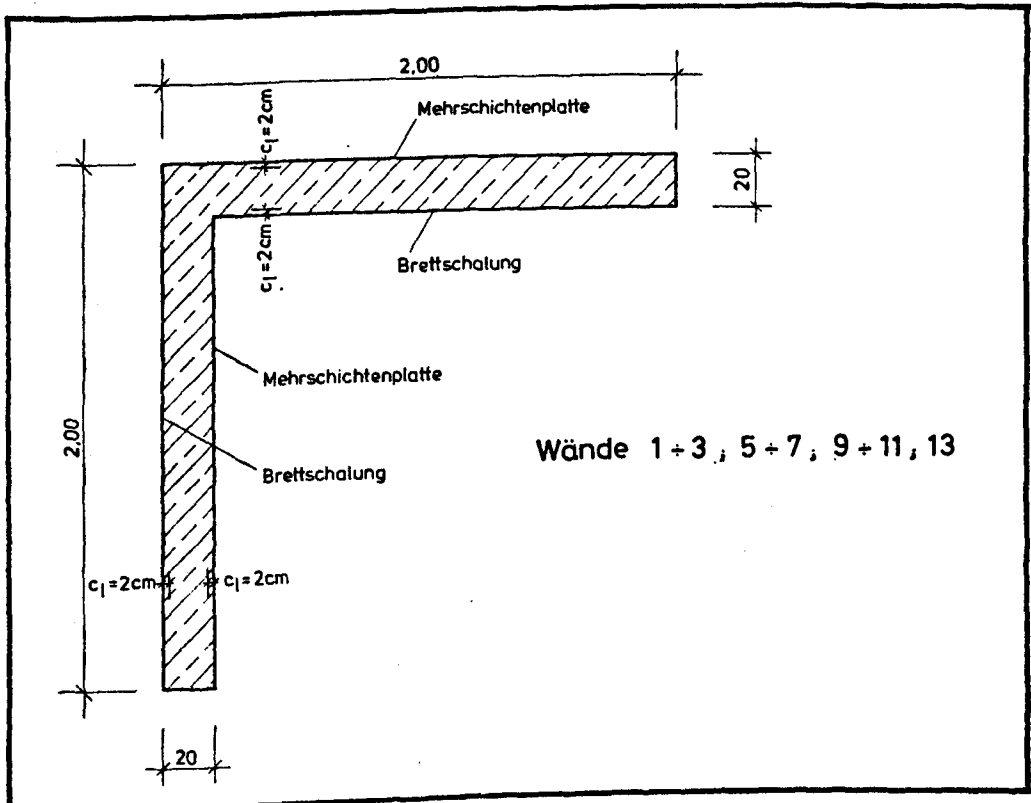
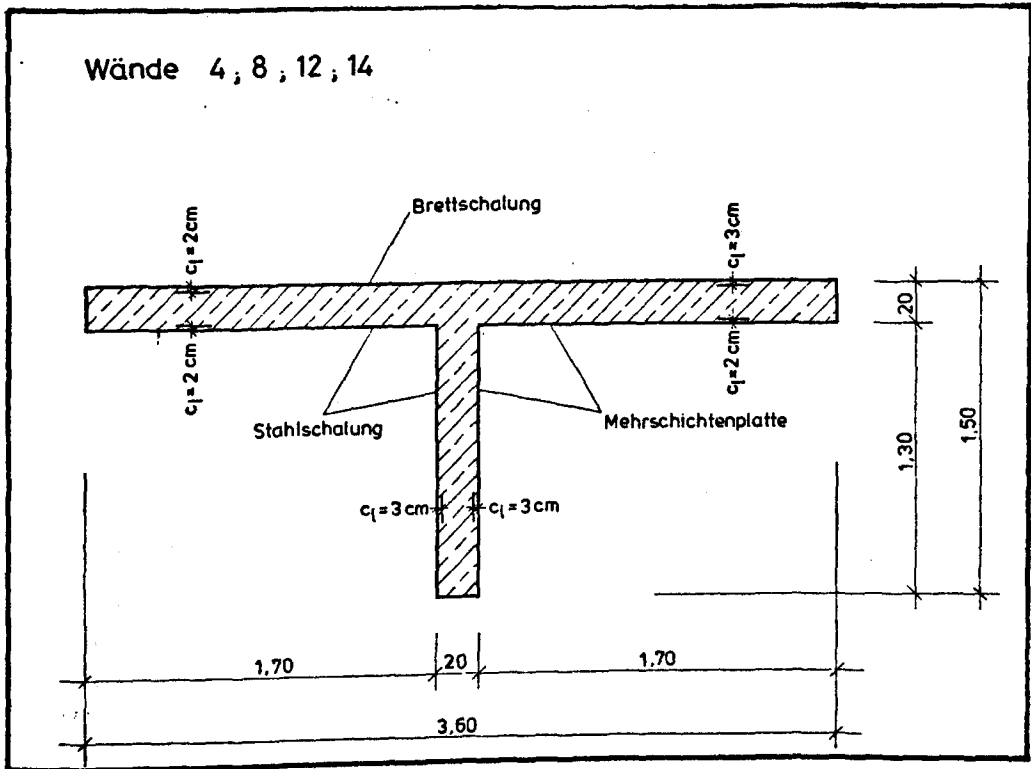


Bild 2

Grundrißabmessungen der Versuchswände mit Angabe der Schalungsoberfläche. c_1 = Betonüberdeckung der Längsbewehrung.

fährdet, da Schiefstellungen der Schalung während des Bauvorgangs kaum ausgeschlossen werden können. Übliche Grundrißformen im Gleitschalungsbau sind - bedingt durch die Bauaufgaben - meist geschlossene Querschnitte (Hohlkästen oder kreisförmige Querschnitte). Um nicht zu günstige Ergebnisse zu erzielen, wurden mit im Grundriß T- und L-förmigen Versuchswänden (Bild 2) Grundrißformen gewählt, die im Bauzustand für sich standfest sind, für den Gleitvorgang zwar keine optimale Form darstellen, in der Praxis jedoch gelegentlich ebenfalls in Gleitschalung erstellt werden.

4.3 Wahl der Schalungsoberfläche

Die geringe Anzahl der Versuchswände zwang zur Beschränkung auf wenige ausgewählte Schalungsoberflächen. Dabei wurde dem Praxisbezug der Vorrang gegeben; die gewählten Schalungsoberflächen

- gehobelte Nadalholzbretter, 3 cm dick,
- kunstharzbeschichtete Mehrschichtenplatte,
- Stahlblech auf Holzschalung

sind in Deutschland bauüblich. Die verschiedenen Schalungen wurden so angeordnet, daß die Wandaußenseiten jeder Versuchswand mit unterschiedlichen Schalungsoberflächen erstellt wurden, um - bei zwangsläufig exakt gleicher Betonzusammensetzung und Gleitgeschwindigkeit - den Einfluß der Schalungsoberfläche ermitteln zu können.

4.4 Wahl der Betonzusammensetzung

Die Literaturangaben zur zweckmäßigen Wahl der Betonzusammensetzung schwanken stark. Es wer-

den einerseits die für übliche Ortbetonbauten benutzten Betone empfohlen, andererseits eine Fülle von sich z. T. widersprechenden Empfehlungen angegeben. Der Beton der Versuchswände wurde daher in weiten Grenzen variiert. Ausgehend von einer Grundmischung (Zement PZ 35 F, rundkörnige Zuschlagstoffe, Sieblinie A/B gem. DIN 1045, Mehlkorngesamt 400 kg/m³, Ausbreitmaß ca. 38 cm, w/z-Wert 0,54) wurden jeweils einzelne Mischungsbestandteile abgeändert; diese sind in Tabelle 8 durch [] gekennzeichnet.

Die für die Wahl der verschiedenen Betonzusammensetzungen berücksichtigten Gründe sollen im folgenden kurz erläutert werden: Nach Literaturangaben kann die Verwendung von gebrochenem Zuschlag zu starken Oberflächenschäden führen /3, 8, 13, 15/, während nach anderen Quellen auch gebrochenes Korn angewandt werden kann. Es wurde deshalb bei zwei Versuchswänden gebrochenes Korn für die Zuschläge mit Korngrößen > 8 mm eingesetzt. Nach /1, 3, 5, 8, 11/ ist es beim Gleitschalungsbau erwünscht, gegenüber üblichem Ortbeton mit höheren Feinanteilen zu arbeiten, da diese als "Schmierstoff" wirken und die Reibung zwischen Beton und Schalung vermindern können. Es wurden daher sowohl Versuchswände mit sandreicherem Zuschlaggemisch (Sieblinie C der DIN 1045) wie auch mit erhöhtem Mehlkorngesamt (600 kg/m³ Beton) ausgeführt. Die Erhöhung des Mehlkorngesamts erfolgte durch Zugabe von 200 kg/m³ Flugasche (EFA-Füller); der gesamte Mehlkorngesamt des Betons entspricht damit dem nach /20/ als noch vertretbar angesehenen Wert. Zwei Versuchswände wurden mit dem in der Praxis ebenfalls oft benutzten Zement

Beton- zusammensetzung	für Wand- Nr.	Gleitge- schwin- digkeit	Bemerkung
Rundkorn	1	0,2 m/h	Grundmischung
Sieblinie A/B	4	0,2 m/h	
Mehlkorn 400 kg/m ³	8	0,3 m/h	
PZ 35 F	13	0,2 m/h	weitgehend kontinu- ierlich gezogen
Rundkorn			
Sieblinie A/B	2	0,2 m/h	200 kg/m ³
Mehlkorn 600 kg/m ³			EFA-Füller
PZ 35 F			
gebrochenes Korn			
Sieblinie A/B			
Mehlkorn 400 kg/m ³	6	0,2 m/h	
PZ 35 F			
Verflüssiger			
gebrochenes Korn			
Sieblinie A/B			200 kg/m ³
Mehlkorn 600 kg/m ³	7	0,2 m/h	EFA-Füller
PZ 35 F			
Verflüssiger			
Rundkorn			
Sieblinie A/B			
Mehlkorn 400 kg/m ³	5	0,2 m/h	$\frac{w}{z} \approx 0,4$
PZ 35 F			
Verflüssiger			
Rundkorn			
Sieblinie A/B	3	0,2 m/h	
Mehlkorn 400 kg/m ³			
HOZ 45 L			
Rundkorn			
Sieblinie A/B	11	0,2 m/h	200 kg/m ³
Mehlkorn 600 kg/m ³			EFA-Füller
HOZ 45 L			
Rundkorn			
Sieblinie A/B			
Mehlkorn 400 kg/m ³	14	0,1 m/h	
PZ 35 F			
Verzögerer			
Rundkorn			
Sieblinie A/B	12	0,4 m/h	
Mehlkorn 400 kg/m ³			
PZ 45 F			
Rundkorn			
Sieblinie C	9	0,2 m/h	
Mehlkorn 400 kg/m ³			
PZ 35 F			
Rundkorn			
Sieblinie C	10	0,2 m/h	200 kg/m ³
Mehlkorn 600 kg/m ³			EFA-Füller
PZ 35 F			

HOZ 45 L erstellt; für hohe Gleitgeschwindigkeit wurde praxisüblich bei einer Versuchswand ein Zement PZ 45 F eingesetzt.

Der Wunsch, bei gleichem w/z-Gehalt gleiche Konsistenz des Frischbetons zu erhalten, erzwang die Zugabe von Verflüssiger bei den Mischungen mit gebrochenem Korn. Die Wand mit der niedrigsten Gleitgeschwindigkeit wurde unter Zusatz eines Verzögerers betoniert.

4.5 Wahl der Gleitgeschwindigkeiten

In der Praxis angewandte mittlere Gleitgeschwindigkeiten bewegen sich zwischen ca. 15 und 20 cm je Stunde. Die Versuchswände wurden mit Gleitgeschwindigkeiten von 10, 20, 30 und 40 cm/h erstellt. Von Extremfällen abgesehen, ist damit der üblicherweise baupraktisch angewandte Bereich der Gleitgeschwindigkeiten abgedeckt.

4.6 Zeitwahl für die Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung sollten sowohl extrem niedrige wie auch zu hohe Lufttemperaturen gemieden werden, um Schädigungen des jungen Betons zu vermeiden. Für die Ausführung gewählt wurde das Frühjahr, da in dieser Zeit über einen längeren Zeitraum hinweg mit ausgeglichenen Witterungsverhältnissen gerechnet werden konnte.

4.7 Messung der Schalungsreibung

Nach allgemein verbreiteter Auffassung kann eine hohe Reibung zwischen der Betonoberfläche

und der Gleitschalung zu Schäden führen, wenn die Zugfestigkeit des jungen Betons überschritten wird und dadurch Risse in der Betonaußenfläche auftreten. Obwohl Grundrißform der Wände und die Anordnung verschiedener Schalungsoberflächen von vornherein eine genaue Messung der Reibungskräfte unmöglich machten, schien es doch angebracht, zumindest die Größenordnung der Reibungskräfte und die relative Änderung dieser Kräfte in Abhängigkeit von Betonsorte und Gleitgeschwindigkeit festzustellen.

5. Versuchsdurchführung

5.1 Versuchszeitraum

Die Versuchswände wurden im Zeitraum vom 24.02.81 bis 17.03.81 betoniert, genaue Daten siehe Tabelle 16. Nach Herstellung waren die Wände frei der Witterung ausgesetzt, bis im Januar 1982 die Kellerdecke fertiggestellt war. Nach Schließen der Wand- und Deckenöffnungen begann die Bewitterung der Versuchswände mit CO_2 im September 1982 und wurde im Mai 1983 beendet.

5.2 Bei den Versuchen eingesetzte Gleitschalung

Abmessungen und Konstruktion der eingesetzten Gleitschalung sind auf den Bildern 3 und 4 dargestellt. Zur Anwendung kam eine von der Firma Lucks & Co., Braunschweig, zur Verfügung gestellte Gleitausrüstung mit ölhydraulischen Hebern von 42 kN Tragkraft, Kletterstangendurchmesser 26 mm. Die Ausrüstung ließ das Heben der Schalung in Einzelschritten von jeweils ca. 2 cm

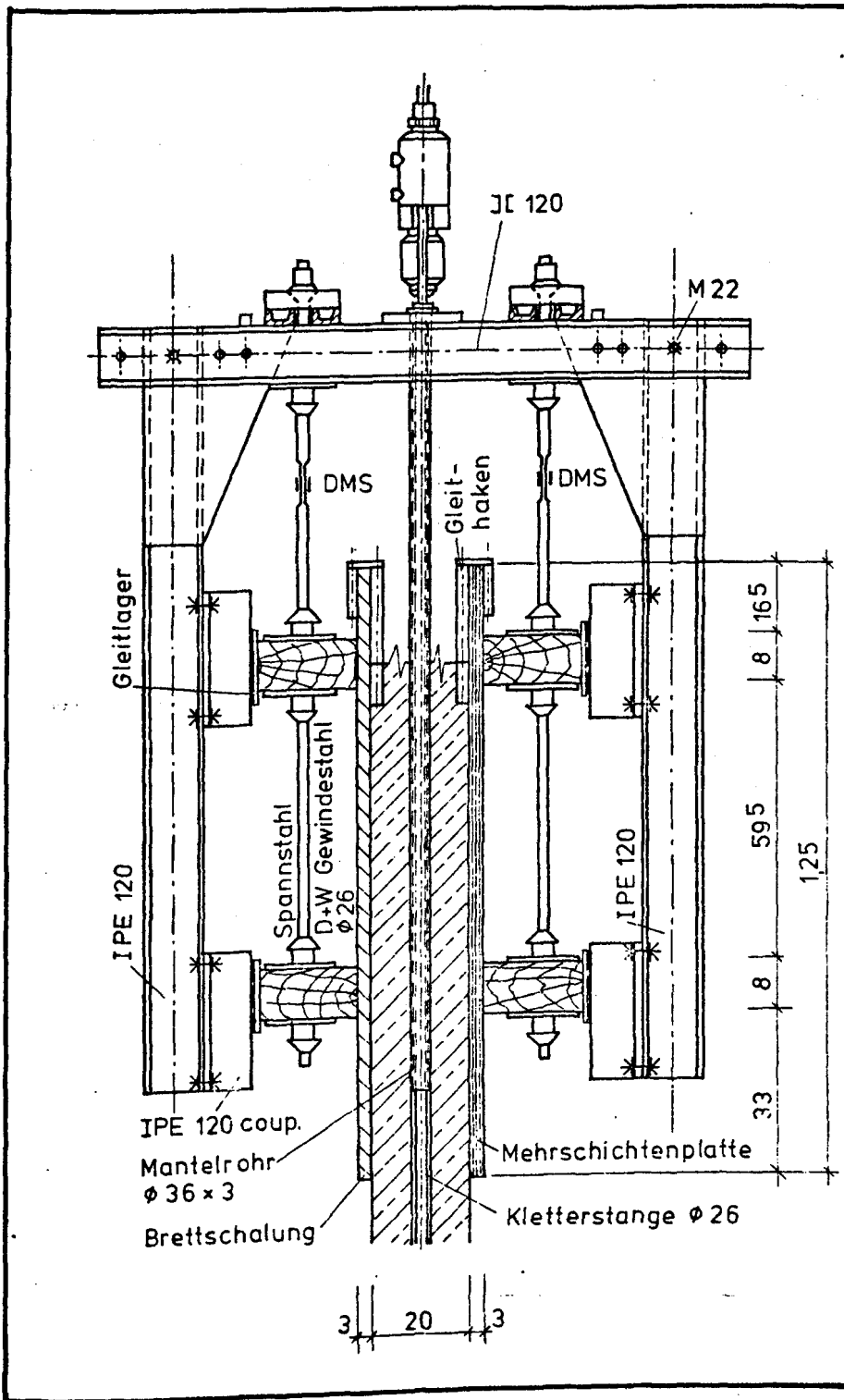
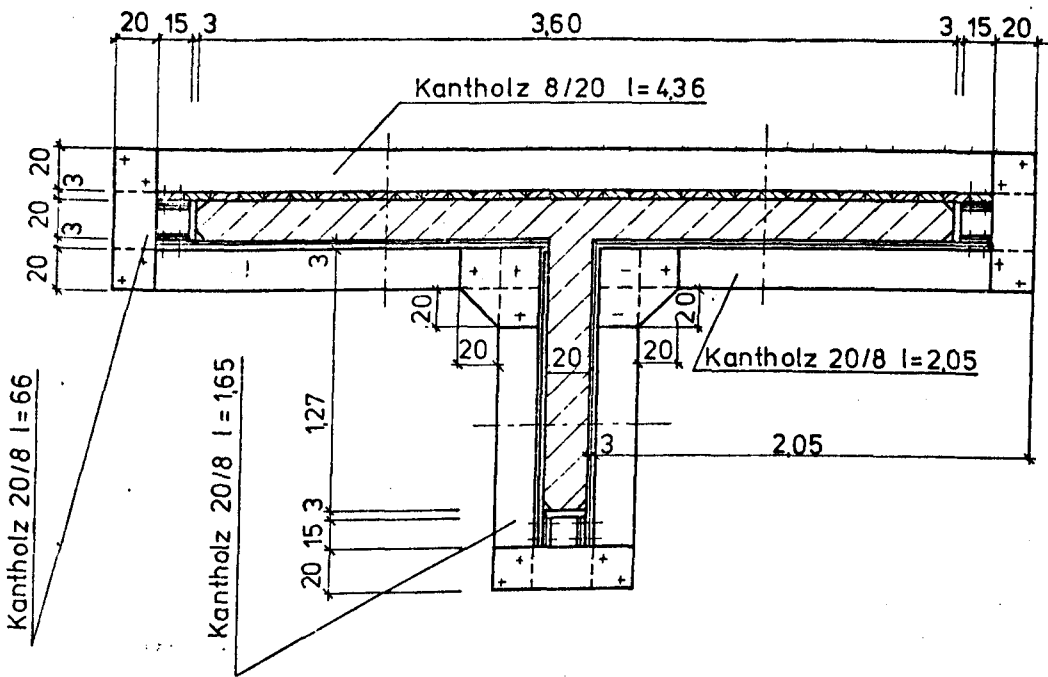


Bild 3

Querschnitt der bei Erstellung der Versuchswände benutzten Gleitschalung.

Wände 4, 8, 12 und 14.



Wände

- 1 - 3,
- 5 - 7,
- 9 - 11,
- 13.

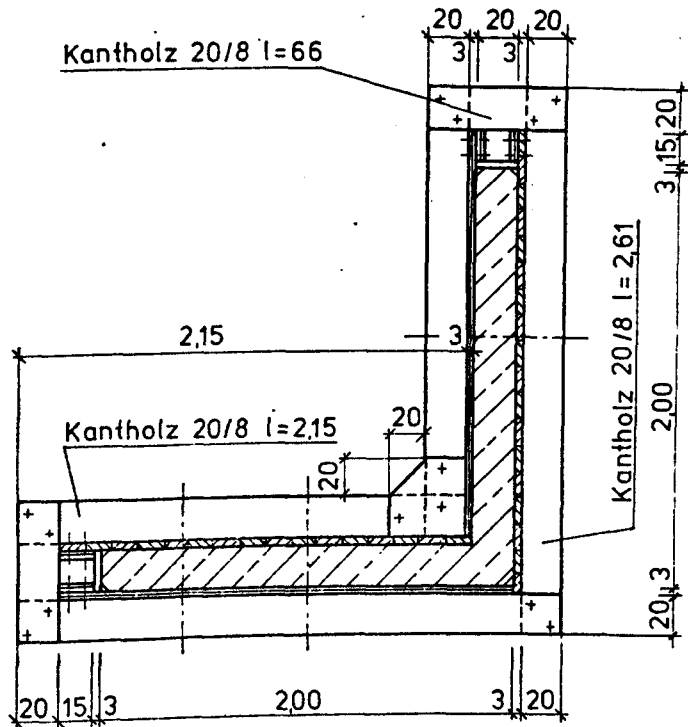


Bild 4

Horizontalschnitt durch die Schalung
der Versuchswände.

zu. Alle Heber einer Gleitschalung waren an eine gemeinsame Hydraulikleitung angeschlossen; sie konnten jedoch zum Ausgleich von Schiefstellungen der Schalung auch einzeln in Betrieb gesetzt werden.

Die Heberböcke bestanden aus einer Profilstahlkonstruktion mit angeschweißter Eckverstärkung.

Als Schalungsmaterialien wurden in senkrechter Lage angenagelte, gehobelte Nadelholzbretter mit 3,0 cm Dicke, kunstharzvergütete Mehrschichtenplatte (Betoplan) mit 2,1 cm Dicke sowie 1 mm Stahlblech auf 2,1 cm dicker Mehrschichtenplatte eingesetzt. Jeweils zwei verschiedene Schalungsoberflächen waren an gegenüberliegenden Wandseiten angeordnet. Die Schalungsoberflächen wurden jeweils vor Beginn des Gleitens mit Schalöl eingestrichen. Vor erneutem Einsatz wurden die Schalungsoberflächen gründlich gesäubert; ein Verschleiß der Oberfläche war bei der geringen Gleithöhe nicht feststellbar.

Die Stirnschalung war feststehend vorgesehen. Bei der Versuchsdurchführung zeigte sich, daß durch die zwischen den Schalungsteilen auftretenden großen Reibungskräfte diese Stirnschalung von der Seitenschalung mitgenommen wurde; dies führte bei einigen Wänden zu Beschädigungen im Bereich der Befestigung der Stirnschalung. Bei den folgenden Wänden wurde deshalb die Stirnschalung mit der Seitenschalung verbunden und mitgehoben.

5.3 Betonzusammensetzung

Die Gründe für die Wahl der Betonzusammensetzungen wurden bereits unter 4.4 erläutert. In den Tabellen 18 und 19 sind die Betonzusammensetzungen der Wände aufgeführt; die Bilder 9 bis 15 zeigen die Kornverteilung der Zuschläge. Die Ausbreitmaße und Rohdichten des Frischbetons sind in Tabelle 20 zusammengestellt. Die Tabellen 22 und 23 geben die Ergebnisse der im Alter von 7 Tagen nach Lagerung der Probekörper in feuchten Tüchern durchgeführten Druckfestigkeits- und Biegezugfestigkeitsprüfungen an.

5.4 Bewehrung der Versuchswände

Alle Versuchswände erhielten eine waagerechte Bewehrung aus $\emptyset 12$, $a = 15$ cm, und eine senkrechte Bewehrung aus $\emptyset 8$, $a = 15$ cm. An den Wandenden wurden je 2 $\emptyset 14$ senkrecht angeordnet. Die freien Wandenden oben und an den Seiten wurden mit Steckbügeln $\emptyset 6$, $a = 15$ cm, eingefast. Die Bewehrungen beider Wandseiten wurden durch 4 S-Haken $\emptyset 6$ mm je m^2 Wandfläche miteinander verbunden.

Die waagerechte Bewehrung wurde jeweils "außen" angeordnet. Die Betondeckung von 2,0 bzw. 3,0 cm (vgl. Bild 2) wurde durch mit der Schalung mitgleitende Abstandshalter (sogenannte "Gleithaken") gesichert. Die gesamte Wandbewehrung bestand aus Beton-Rippenstahl der Güte BSt 420/500 RK (Bilder 16 und 17).

5.5 Durchführung der Gleitversuche

Die auf einer Betonsohle aufstehende und an ihrem unteren Rand durch Drängbretter gehaltene Schalung wurde bauüblich in Schichten von jeweils ca. 20 cm mit Beton gefüllt; der zeitliche Abstand dieser einzelnen Betonagen entsprach dabei bereits dem für den Gleitprozeß vorgesehenen Betonierablauf. Nach ausreichender Erhärtung des zuerst eingebrachten Betons (geprüft durch Eindrücken von oben eines Bewehrungsstahls \varnothing 12 mm) begann der Gleitvorgang, wobei - ebenfalls bauüblich - die Schalung in Einzelschritten von jeweils ca. 20 cm gehoben wurde. Bei einzelnen Wänden erzwang der Erhärtungsverlauf des Betons geringe Abweichungen von dem in regelmäßigen Zeitabständen vorgesehenen Heben der Schalung; insgesamt wurden jedoch die vorgesehenen Gleitgeschwindigkeiten (s. Tabelle 8) gut eingehalten.

Ein kontinuierliches Gleiten war mit der vorhandenen Ausrüstung nicht möglich; um diese Arbeitsweise weitgehend anzunähern, wurde bei Wand 13 die Schalung in kurzen Zeitintervallen (\leq 15 Minuten) jeweils ca. 5 cm gehoben. Die Bilder 18 bis 24 zeigen den zeitlichen Verlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Gleitschalung. Nach Erreichen der Sollhöhe der Wand wurde die Schalung in größeren Zeitabständen vom Wandende freigezogen.

Die Betonherstellung erfolgte im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz durch institutseigene Arbeitskräfte in einem 300-l-Zwangsmischer, Mischzeit ca. 4 Minuten. Der Beton wurde in einer Betonbombe mit Hilfe eines Gabelstaplers ca. 200 m weit zur Einbaustelle

transportiert, in Schubkarren umgefüllt und in die Schalung eingebracht. Der Zeitraum zwischen Ende des Mischvorgangs und dem Einfüllen in die Schalung betrug maximal 15 Minuten. Betoniert wurde von einem getrennten, nicht mit der Gleitschalung verbundenen Arbeitsgerüst. Mit Innenrüttlern von 6 cm Durchmesser der Rüttelflasche erfolgte die Verdichtung des Betons; gerüttelt wurde jeweils ca. 1 Minute; der Abstand der Eintauchstellen der Rüttelflasche betrug maximal 20 cm. Beim Rütteln wurde streng darauf geachtet, daß die Rüttelflasche nur die soeben eingeführte Betonschicht und den oberen Bereich der vorher betonierten Schicht erfaßte, d. h. die Eintauchtiefe maximal 30 cm betrug.

Der unten aus der Schalung austretende Beton war fast immer so weit gehärtet, daß er sich nur noch unter erheblicher Krafteinwirkung mit der Fingerkuppe leicht eindrücken ließ.

Kurz nach dem Freiwerden der Betonoberfläche wurde diese mit einem Reibebrett mit Schaumgummiauflage "im eigenen Saft" verrieben. Für Vergleichsuntersuchungen blieben Teile der Wand im ursprünglichen Zustand. Eine weitere Nachbehandlung der Wandflächen erfolgte nicht, da sie wegen der kühlen, feuchten Witterung bei Erstellung der Wände unnötig erschien und in der Baupraxis bei gleichen Witterungsbedingungen ebenfalls nicht angewandt worden wäre.

Die bei der Ausführung der Versuchswände gemessenen Temperaturen (Luft- und Frischbetontemperatur nach dem Mischen) sind in Tabelle 17 zusammengestellt.

5.6 Durchführung der Schalungsreibungsmessung

Die vorhandene Gleitaustrüstung wurde so modifiziert, daß die eigentliche Schalung (Schalhaut und Kranzhölzer) über Zugstangen \varnothing 26 cm an den Heberböcken angehängt wurde (vgl. Bild 3). Um Zwängungen weitgehend zu vermeiden, wurden diese Zugstangen unterhalb des Aufhängepunktes durch Abdrehen auf einen Durchmesser von ca. 10 mm reduziert; hier wurden zur Kraftmessung Dehnmeßstreifen in Vollbrückenordnung aufgeklebt. Die Eichung der so vorbereiteten Zugstäbe erfolgte in einer Zugprüfmaschine. Bei der Durchführung der Versuche wurden zusätzliche, nicht belastete Stäbe zur Temperaturkompensation eingesetzt. Um eine Kraftübertragung von den Kranzhölzern auf die Heberböcke weitgehend zu verhindern, waren an der Berührungsstelle Gleitlager, bestehend aus Stahlprofilen mit Gleitfolie, angeordnet.

Die Meßwerte der DMS wurden - nach manueller Auslösung - während des Hebevorgangs der Schalung von einer Mehrstellen-Meßanlage ausgewertet und ausgedruckt.

6. Versuchsergebnisse

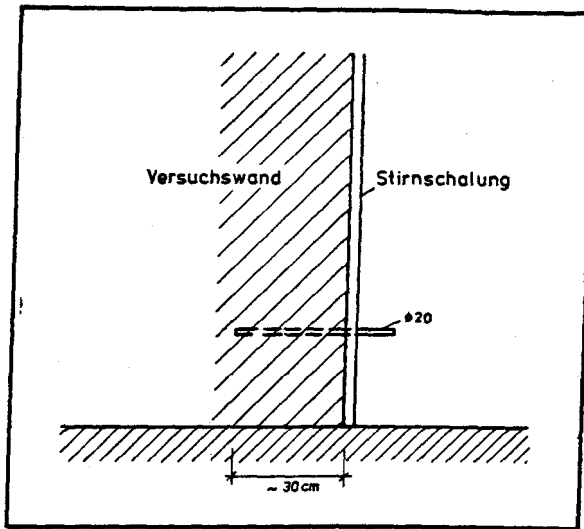
6.1 Bei der Erstellung der Versuchswände aufgetretene Betonschäden

6.1.1 Unzureichende Verankerung der Stirnschalungen der Wände

Das ursprüngliche Versuchsprogramm sah vor, einen Teil der Stirnschalungen nicht mit der Gleitschalung hochzuziehen, sondern analog einer Lisenenschalung bei Erstellung von vorgespannten Silos im Gleitbau diese Stirnschalungen fest stehen zu lassen. Die Befestigung erfolgte dabei in - nach Angabe der die Gleitarbeiten ausführenden Firma - bauüblicher Art in der Form, daß durch ein in die Schalung gebohrtes Loch ein Rundstahl $\varnothing 20$ gesteckt wurde, der ca. 30 cm weit in den Beton ragte (Bild 5). Die Reibung zwischen feststehender Stirnschalung und Gleitschalung war jedoch so groß, daß die Stirnschalung mitgezogen wurde; der noch frische Beton am Wandfuß erlitt erhebliche Beschädigung, z. T. wurde auch die Bewehrung der Wände verbogen (Fotos 1 bis 4). Bei später ausgeführten Wänden wurde die Stirnschalung mit Hilfe eines Stahlwinkels durch je 2 Spreizdübel M 14 im Fundamentbeton verankert (Bild 6). Diese Ausbildung war in der Lage, das Mitziehen der Stirnschalung zu verhindern.

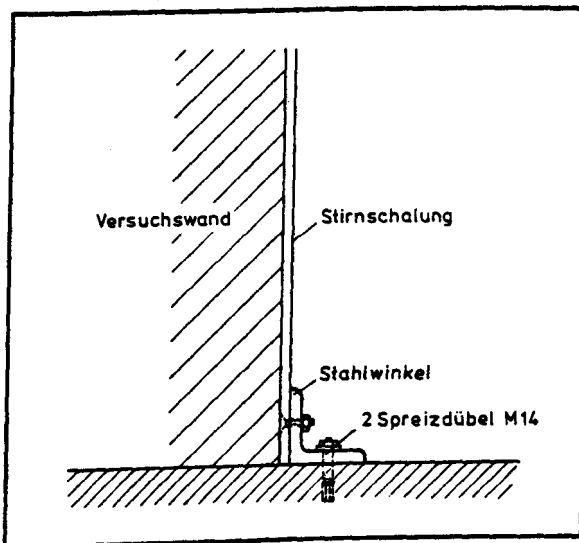
6.1.2 Beschädigung der Wandoberfläche durch Schalungsverschmutzung

Wenn erhärtete Betonteile an der Gleitschalung haften bleiben, die Oberfläche der Schalung beschädigt ist oder zwischen Schalung und Bewehrung eingeklemmte Zuschlagkörner mit hochgezogen

Bild 5

Ursprüngliche Befestigung der feststehenden Stirnschalung der Versuchswände.

Führte zu z. T. schweren Betonschäden.

Bild 6

Verbesserte Befestigung der feststehenden Stirnschalung der Versuchswände.

gen werden, entstehen beim Gleitschalungsbau zwangsläufig Schäden an der Oberfläche der Wände. Bei der Ausführung der Versuchswände zeigte die Wand 12 auf der einen Seite (Schalung aus Stahlblech) zwei, bereits am Wandfuß beginnende Rillen in der Wandoberfläche (Fotos 5 und 6). Als Ursache stellten sich Verbiegungen des Stahlblechs am unteren Rand der Schalung heraus. Diese entstanden vermutlich beim Umsetzen der Schalung durch die Wand-Anschlußseisen. Trotz sorgfältiger Reinigung der Schalung vor jedem neuen Einsatz und während des Gleitens zeigten die Wandecken Beschädigungen (Fotos 7 und 8), verursacht durch anhaftende erhärtete Betonteile. Diese auch hier aufgetretene Schwierigkeit, im Gleitschalungsbau ausspringende scharfkantige 90° -Ecken zu erstellen, ist allgemein bekannt.

6.1.3 Schäden durch Freiziehen der Schalung

Üblicherweise wird die Gleitschalung nach Erreichen der Endhöhe der Wand weiter gezogen. Dieses "Freiziehen" wurde auch bei den Versuchswänden, meist mit der auch bei Erstellung der Wand vorgesehenen Gleitgeschwindigkeit, durchgeführt. Da die Schalung beim Freiziehen noch erhebliche Reibungskräfte auf den Beton ausübt, die verringerte Betonhöhe jedoch weniger Auflast bringt, können waagerechte Risse im Beton entstehen. Diese wurden auch verschiedentlich beobachtet (Fotos 9 und 10). Versuchsweise wurde bei einer Wand die Schalung an Oberkante Wand angehalten und erst ca. 12 Std. später freigezogen. Die Folgen waren breite waagerechte Risse (Foto 11), hervorgerufen durch "Anfrieren" des Betons an die Schalung (sehr hohe Haftreibung).

Das Freiziehen der Schalung führt am oberen Rand der Wände fast zwangsläufig zu Schäden. Bedingt durch fehlende Auflast, wird die Betonstruktur z. T. erheblich zerstört (Fotos 12, 13 und 14). Versuchsweise am oberen Rand angeordnete Steckbügel im Abstand von 10 cm über die gesamte Länge waren weitgehend in der Lage, das Mitziehen des Betons zu verhindern; zur Erstellung eines ebenen oberen Wandabschlusses waren nur noch geringe Ausbesserungsarbeiten durchzuführen (Fotos 15, 16 und 17).

6.1.4 Schäden durch hohe Reibungskräfte zwischen Beton und Schalung

Bereits zu Beginn der Gleitarbeiten (die Schalung war vollständig gefüllt) bei Wand 11 zeigte sich, daß infolge sehr großer Reibung zwischen Beton und Schalungsoberfläche der gesamte Beton innerhalb der Schalung mit hochgezogen wurde. Auch die Bewehrungsstäbe waren nicht in der Lage, dieses Hochziehen zu verhindern; im noch jungen Beton versagte der Übergreifungsstoß zwischen Wand- und Anschlußbewehrung. Die Fotos 18, 19 und 20 zeigen das Ausmaß der Schäden von verschiedenen Wandseiten. Nach Anschweißen der Bewehrungsstäbe der Wand an die Anschlußbeisen und geringfügiger Erhöhung der Gleitgeschwindigkeit gegenüber der ursprünglichen Planung konnte der Rest der Wand ohne weitere Schwierigkeiten erstellt werden. Als Ursache dieser hohen Reibung kommt nur die bei Wand 11 angewandte Kombination Hochofenzement (HOZ 45 L) mit hohem Gehalt an EFA-Füller infrage; hier war unbeabsichtigt eine Art "Klebe-mörtel" entstanden.

6.2 Beurteilung der Betonqualität der Wand- oberflächen

Ein allgemein anerkanntes Verfahren, um die Güte von Betonoberflächen zu bestimmen, ist nicht bekannt. Bauüblich und auch in DIN 18217 "Betonflächen und Schalungshaut" beschrieben ist die Beurteilung der Oberflächengüte ausgeführter Bauteile durch Vergleich mit Musterflächen. Für die üblicherweise gebrauchten Begriffe "Sichtbetonqualität", "glatter Beton", "rauhes Beton" usw. fehlen allerdings eindeutige Festlegungen. Die bei den Versuchswänden erreichten Oberflächengüten konnten daher nur allgemein beschrieben und in die Gruppen

"wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung"

"schlechter als Ortbeton in rauher Schalung"

"etwas schlechter als Ortbeton in rauher Schalung"

"vergleichbar mit Ortbeton in rauher Schalung"

"schlechter als Ortbeton in glatter Schalung"

"etwas schlechter als Ortbeton in glatter Schalung"

"vergleichbar mit Ortbeton in glatter Schalung"

eingeteilt werden, wobei die Oberflächengüte in der o.a. Reihenfolge ansteigt. Die Beurteilungsergebnisse sind in der Tabelle 9 zusammengestellt. In der Spalte "horizontale Absätze" dieser Tabelle ist vermerkt, ob die für den Gleitschalungsbau typische horizontale Gliederung, entstanden durch Hervorquellen des Betons oder der ausgelaufenen Schlempe an der

Wand-Nr.	Schalung	Betonoberfläche	Fehlstellen/ Poren	Horizontale Absätze	Schlempe auf Betonoberfläche	Beurteilung der Oberflächen- qualität
1	Holz (1/H)	rauh, z. T. aufgerissen	vereinzelt Löcher, dann aber z. T. tief	Gesamthöhe schwach erkennbar	etwas Schlempe ausgelaufen	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichten- platte (1/M)	geschlossen, etwas rau	wenig Löcher und Poren, nicht tief- reichend	Einzelhübe schwach, Gesamthübe deutlich erkennbar	etwas Schlempe ausgelaufen	vergleichbar mit Ortbeton in rauher Schalung
2	Holz (2/H)	rauh, aber weitgehend geschlossen	vereinzelt Löcher, dann aber z. T. tief	Einzelhübe kaum, Ge- samthöhe schwach erkennbar	etwas Schlempe ausgelaufen	etwas schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichten- platte (2/M)	geschlossen, etwas rau	Löcher und Poren, nicht tiefreichend	Einzel- und Gesamthübe deutlich erkennbar	keine Schlempe	etwas schlechter als (1/M)
3	Holz (3/H)	rauh, aufgerissen	z. T. starke Fehlstellen, tiefe Löcher	Gesamthübe zeichnen sich schwach ab	Schlempe ausgelaufen	wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichten- platte (3/M)	geschlossen, vereinzelt raue Stellen	wenig Fehl- stellen	Einzel- und Gesamthübe deutlich erkennbar	etwas Schlempe ausgelaufen	vergleichbar mit Ortbeton in rauher Schalung
4	Holz, Betondeckung 3 cm (4/H1)	rauh, aufgerissen	vereinzelt Löcher, dann aber z. T. tief. (4/H1) mit mehr und tieferen Fehlstellen als (4/H2)	Gesamthübe schwach erkennbar	Schlempe ausgelaufen	wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Holz, Betondeckung 2 cm (4/H2)					
	Mehrschichten- platte (4/M)	geschlossen, wenig rau	wenig Fehl- stellen	Einzelhübe kaum, Ge- samthübe schwach erkennbar	keine Schlempe	vergleichbar mit Ortbeton in glat- ter Schalung, besser als (3/M)
5	Stahlblech (4/B)	geschlossen, wenig rau	wenig Fehl- stellen	Einzel- und Gesamthübe schwach erkennbar	keine Schlempe	vergleichbar mit Ortbeton in glat- ter Schalung, besser als (3/M)
5	Holz (5/H)	rauh, aufgerissen, z. T. wieder glattgerieben	häufige, z. T. sehr tiefe Fehl- stellen	Einzelhübe selten, Ge- samthübe deutlich erkennbar	etwas Schlempe	wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichten- platte (5/M)	rauh, etwas aufgerissen	häufige kleinere Fehlstellen (Löcher), z. T. wieder zugerieben	Einzelhübe schwach, Gesamthübe deutlich erkennbar	etwas Schlempe	etwas schlechter als Ortbeton in rauher Schalung

Tabelle 9

Beurteilung der Qualität der Wandoberflächen
der Versuchswände.

6	Holz (6/H)	rau, etwas aufgerissen	häufige Fehlstellen, aber nur wenige tief	Einzelhübe selten, Gesamthübe schwach erkennbar	etwas Schlempe	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung, aber besser als alle anderen Versuchs- wände mit Holz- schalung
	Mehrschichten- platte (6/M)	rau, durch Schalung "abgerieben"	häufige Fehlstellen (Löcher)	Einzelhübe selten, Gesamthöhe schwach erkennbar	kaum Schlempe	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
7	Holz (7/H)	rau, Ober- fläche jedoch weitgehend geschlossen	häufige tiefe Fehlstellen	Einzelhübe schwach, Gesamthübe deutlich erkennbar	kaum Schlempe	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichten- platte (7/M)	etwas rau, Oberfläche jedoch weit- gehend ge- schlossen	häufige Fehlstellen (Löcher)	Einzelhübe selten, Gesamthübe deutlich erkennbar	kaum Schlempe	etwas schlechter als Ortbeton in glatter Schalung
8	Holz, Betondeckung 3 cm (8/H1)	rau, aufgerissen	vereinzelte Fehlstellen, Tiefe gerin- ger als bei (4/H).	Gesamthübe erkennbar	Schlempe ausgelaufen	wesentlich schlech- ter als Ortbeton in rauher Schalung
	Holz, Betondeckung 2 cm (8/H2)		(8/H1) mit mehr und tieferen Fehlstellen als (8/H2)			
	Mehrschichten- platte (8/M)	rau	kleine Fehl- stellen ge- ringer Tiefe	Einzel- und Gesamthübe erkennbar	etwas Schlempe	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Stahlblech (8/B)	weitgehend dichte Oberfläche	vereinzelt kleine Fehlstellen	Einzel- und Gesamthübe deutlich erkennbar	kaum Schlempe	vergleichbar mit Ortbeton in rauher Schalung
9	Holz (9/H1)	rau, durch Schalung "abgerieben"	wenig Fehlstellen geringer Tiefe	Gesamthübe erkennbar	Schlempe ausgelaufen	wesentlich schlech- ter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichten- platte (9/M1)	rau, durch Schalung "abgerieben"	vereinzelt kleine Fehlstellen	Gesamthübe erkennbar	Schlempe ausgelaufen	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
10	Holz (10/H)	rau, aber weitgehend geschlossen	vereinzelte Fehlstellen geringer Tiefe	Einzelhübe schwach, Gesamthübe deutlich erkennbar	kaum Schlempe	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichten- platte (10/M)	etwas rau, jedoch weit- gehend ge- schlossen	häufige, aber nur kleine Fehlstellen	Einzelhübe schwach, Gesamthübe deutlich erkennbar	kaum Schlempe	etwas schlechter als Ortbeton in rauher Schalung

11	Holz (11/H1) (11/H2)	rauh, Oberfläche aufgerissen, durch Schalung jedoch wieder glattgerieben	wenige, aber tiefe Fehlstellen	Einzelhübe selten, Gesamthübe deutlich erkennbar	Schlempe ausgelaufen	wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichtenplatte (11/M)	rauh, jedoch weitgehend geschlossen	wenig Fehlstellen geringer Tiefe	Einzelhübe kaum, Gesamthübe deutlich erkennbar	etwas Schlempe ausgelaufen.	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
12	Holz, Betondeckung 3 cm (12/H1) Betondeckung 2 cm (12/H2)	sehr rau, Oberfläche aufgerissen, z. T. durch Schalung wieder glattgerieben	viele, z. T. tiefe Fehlstellen. (12/H1) mit mehr und tieferen Fehlstellen als (12/H2)	Gesamthübe erkennbar	etwas Schlempe	wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichtenplatte (12/M)	rauh, durch Schalung "abgerieben"	häufige Fehlstellen, aber größtenteils wieder zugerieben	Einzelhübe schwach, Gesamthübe deutlich erkennbar	kaum Schlempe	schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Stahlblech (12/B)	etwas rau, jedoch weitgehend geschlossen	häufige, aber nur kleine Fehlstellen	Einzel- und Gesamthübe deutlich erkennbar	kaum Schlempe	etwas schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
13	Holz (13/H)	sehr rau, Oberfläche aufgerissen, z. T. durch Schalung wieder geglättet	viele, z. T. tiefe Fehlstellen	Hübe kaum erkennbar	Schlempe ausgelaufen	wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichtenplatte (13/M)	etwas rau, jedoch weitgehend geschlossene Oberfläche durch Schalung "abgerieben"	wenig Fehlstellen (Löcher) geringer Tiefe	Hübe kaum erkennbar	wenig Schlempe	etwas schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
14	Holz, Betondeckung 3 cm (14/H1) Holz, Betondeckung 2 cm (14/H2)	sehr rau, Oberfläche aufgerissen, z. T. durch Schalung wieder glattgerieben	viele, z. T. tiefe Fehlstellen. (14/H1) mit mehr und tieferen Fehlstellen als (14/H2)	Gesamthübe erkennbar	etwas Schlempe	wesentlich schlechter als Ortbeton in rauher Schalung
	Mehrschichtenplatte (14/M)	glatte, geschlossene Oberfläche	wenige kleine Fehlstellen	Einzel- und Gesamthübe erkennbar	etwas Schlempe	vergleichbar mit Ortbeton in glatter Schalung
	Stahlblech (14/B)	etwas rau, jedoch weitgehend geschlossene Oberfläche	wenig Fehlstellen geringer Tiefe	Einzel- und Gesamthübe erkennbar	keine Schlempe	etwas schlechter als Ortbeton in glatter Schalung

Unterkante der Gleitschalung, an der Wandoberfläche noch erkennbar ist. Dabei wurden als "Einzelhub" die Hebung der Schalung um ca. 2 cm entsprechend des max. Hubmaßes der eingesetzten Heber, als "Gesamthub" das Hubmaß (rd. 20 cm) eines Betonierabschnitts bezeichnet.

Zusätzlich zur Beschreibung der Wandoberflächen wurden diese fotografiert (Fotos 21 bis 60). Dabei erfolgte die Ausleuchtung durch stark seitlichen Lichteinfall, so daß sich Fehlstellen durch ihre Schlagschatten deutlich abzeichnen. Diese Fehlstellen erscheinen auf den Bildern daher z. T. wesentlich stärker und tiefer, als sie vor Ort anzutreffen waren.

Um die in Gleitschalung erstellten Wandoberflächen mit der Oberflächenqualität von Ortbeton vergleichen zu können, zeigt Foto 21 eine in gehobelter Holzschalung und Foto 62 eine in einer Schalung aus Mehrschichtenplatten erstellte Ortbetonwand.

Auf Foto 21 ist die nach dem bauüblichen Verreiben des aus der Gleitschalung ausgetretenen Betons vorgefundene Oberflächenstruktur abgebildet.

Zur Bestimmung der Oberflächenrauigkeit war ursprünglich vorgesehen, diese nach DIN 4774 "Messung der Wellentiefe mit elektrischen Tastschrittgeräten" zu ermitteln. Abgesehen davon, daß ein direkter Einsatz dieser Meßgeräte an der Wandoberfläche nur sehr schwierig durchzuführen ist, erscheint dieses Meßverfahren für den Einsatz bei sehr unregelmäßig gestalteten, mit Löchern und Poren übersäten Betonoberflächen wenig geeignet. Wie auch die Beispiele für

die Entstehungsursache von Gestaltabweichungen in DIN 4760 "Gestaltabweichungen, Begriffe, Ordnungssystem" zeigen, sind diese Meßverfahren ursprünglich für die Messung von durch spanabhebende Bearbeitung der Werkstücke des Maschinenbaus entstandene Formabweichungen entwickelt worden; sehr unregelmäßige Oberflächen sind damit nicht sinnvoll zu beschreiben. Um trotzdem die Rauheit der Wandoberflächen abbilden zu können, wurden diese mit einem elastischen 2-Komponenten-Formenmaterial abgeformt. Zur Verwendung kam dabei das m-Polymer 435 T der Firma Wacker-Chemie GmbH, München; als Trennmittel diente stark verdünnter Tapetenkleister. Diese Abformungen wurden in Richtung der ursprünglichen Vertikalen getrennt, die Schnittflächen konnten fotokopiert werden. Auf den Bildern 25 bis 26 sind diese Schnitte, die im Maßstab 1 : 1 die Wandrauhigkeit wiedergeben, als Negativ abgebildet.

Die Oberflächenqualität einiger Wandoberflächen entsprach nach Austreten aus der Gleitschalung ohne weitere Nachbehandlung durchaus der von üblichen Ortbetonwänden. Besonders günstig verhielten sich hier die mit einer Schalung aus Mehrschichtenplatte oder Stahlblech erzeugten Wandflächen der Versuchswände Nr. 4 ("Grundmischung"; Gleitgeschwindigkeit 0,2 m/h), Nr. 14 ("Grundmischung" + Verzögerer; Gleitgeschwindigkeit 0,1 m/h) und Nr. 7 (Splitt, PZ 35 F, Füller; Gleitgeschwindigkeit 0,2 m/h). Diese Wandflächen wiesen eine Oberflächenqualität wie eine in glatter Schalung erstellte Ortbetonwand auf.

Der Oberflächenqualität von in rauher Schalung erstellten Ortbetonwänden entsprachen (oder

waren in dieser Hinsicht nur geringfügig schlechter) die mit einer Mehrschichtenplatte als Schalung hergestellten Wandflächen der Versuchswände Nr. 1 ("Grundmischung", Gleitgeschwindigkeit 0,2 m/h), Nr. 2 (Rundkorn, PZ 35 F, Füller; Gleitgeschwindigkeit 0,2 m/h), Nr. 3 (Rundkorn, HOZ 45 L; Gleitgeschwindigkeit 0,2 m/h), Nr. 10 (Rundkorn, Sieblinie C, PZ 35 F, Füller; Gleitgeschwindigkeit 0,2 m/h), Nr. 13 ("Grundmischung", Schalung kontinuierlich gezogen; Gleitgeschwindigkeit 0,2 m/h) sowie die mit Stahlblech als Schalung hergestellten Wandflächen der Versuchswände Nr. 8 ("Grundmischung"; Gleitgeschwindigkeit 0,3 m/h) und Nr. 12 (Rundkorn, PZ 45 F, Gleitgeschwindigkeit 0,4 m/h). Alle hier aufgeführten Wandflächen haben eine Oberflächengüte erreicht, die zumindest für die Anwendung im Industriebau ohne weitere Nachbehandlung (Abreiben) ausreicht.

Die Verwendung von Holzschalungen führte bei den Versuchswänden immer zu Betonoberflächen, die in ihrer Güte schlechter als die von in Ortbeton mit rauher Schalung hergestellten Wänden waren. Holzschalung im Gleitschalungsbau erzwingt daher das Abreiben der Betonoberfläche nach Austritt aus der Schalung.

Es fällt auf, daß die Oberflächenqualität der mit glatter Schalung erstellten Wandflächen bei der Wand Nr. 4 besser als die der Wand Nr. 1 ist, obwohl beide mit gleicher Betonzusammensetzung und gleicher Gleitgeschwindigkeit hergestellt wurden. Es muß angenommen werden, daß sich hier der T-förmige Grundriß und die größeren Grundrißlängen der Wand Nr. 4 günstig ausgewirkt haben, da die Gleitschalung ruhiger

nach oben bewegt wurde und eine Schaukelbewegung der Schalung, wie sie sonst öfter beim Gleiten beobachtet wurde, im Gegensatz zur Wand Nr. 1 mit L-Grundriß weitgehend vermieden wurde.

6.3 Meßergebnisse Schalungsreibung

6.3.1 Auswertung der Meßergebnisse

Da - bedingt durch die Meßeinrichtung - die absoluten Höchstwerte der Schalungsreibung nicht sicher erfaßt werden konnten, erfolgte die Auswertung der gewonnenen Meßwerte statistisch in der Art, daß außer den gemessenen Höchstwerten auch die Mittelwerte der jeweils gemessenen größten drei, fünf und zehn Werte der Schalungsreibung einschließlich Standardabweichung ermittelt wurden. Die gesamten Meßergebnisse sind in Tabelle 24 zusammengestellt.

Für die nachfolgende Auswertung werden jeweils die Mittelwerte der fünf größten Meßwerte zugrunde gelegt, da hiermit eine ausreichend große Anzahl der Meßwerte erfaßt wird, der Variationskoeffizient aber noch gering bleibt. Eine - hier nicht wiedergegebene - Auswertung für die gemessenen Höchstwerte bzw. die Mittelwerte an den drei oder zehn gemessenen Größtwerten ergibt zwar etwas andere Zahlenwerte für die prozentualen Änderungen der Schalungsreibung, ändert die generelle Aussage der nachfolgenden Auswertung jedoch nicht ab. Es sei noch einmal betont, daß die ermittelten Werte nur hier zum Vergleich verschiedener Parameter geeignet sind, nicht zur Festlegung der absoluten Größe der Schalungsreibung bei Gleitschalung, da

- a) die Meßwerte nur Mittelwerte zwischen den Werten für glatte Schalung (Mehrschichtenplatte bzw. Blech) und rauher Schalung (Holz) liefern und
- b) durch die für derartige Messungen ungünstige Grundrißform der Versuchswände unkontrollierte Lastübertragungen (z. B. bei Verkantungen der Schalung) nicht ausgeschlossen werden können.

Die Genauigkeit der Meßwerte kann durch Vergleich der Ergebnisse für Wand 1 und Wand 4 abgeschätzt werden; diese Wände unterschieden sich nur in Grundrißform und zusätzlich vorgesehener Blechschalung bei Wand 4. Wie zu erwarten war, sind die Höchstwerte der Schalungsreibung - zufallsbedingt - stark unterschiedlich; der Mittelwert aus den fünf größten Meßwerten ist jedoch fast gleich. Der etwas geringere Wert bei Wand 4 kann durch den größeren Anteil glatter Schalung bei dieser Wand leicht erklärt werden.

6.3.2 Einfluß von Kornform und Sieblinie auf die Schalungsreibung

Zur Auswertung geeignet sind die Versuchswände 1; 6; 7; 9; 10, die alle mit gleicher Gleitgeschwindigkeit erstellt wurden.

Wand	Kornform/ Sieblinie	Schalungsreibung [%]
1	Rundkorn Sieblinie A/B	100
6	gebrochenes Korn Sieblinie A/B	121
7	gebrochenes Korn Sieblinie A/B Mehlkorn 600 kg/m ³	125
9	Rundkorn Sieblinie C	53
10	Rundkorn Sieblinie C Mehlkorn 600 kg/m ³	96

Tabelle 10

Gegenüber der Grundmischung (Rundkorn, Sieblinie A / B) wird durch Verwendung von gebrochenem Korn die Reibung auf 121 % erhöht; ein sandreicherer Zuschlag (Sieblinie C) führt dagegen zu einem Abfall der Reibungskraft auf 53 %. Die Erhöhung des Mehlkorngehalts durch Zugabe von EFA-Füller erhöhte jeweils die Reibungskräfte, wobei die Zunahme bei dem Beton mit gebrochenen Zuschlägen nur gering ausfiel.

6.3.3 Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf die Schalungsreibung

Die Wände 14; 4; 8 und 12 sind bei sonst gleicher Zusammensetzung mit unterschiedlicher Gleitgeschwindigkeit erstellt worden; allerdings wurde für Wand 12 ein anderer Zement benutzt.

Wand	Zement	Gleitgeschwindigkeit m/h	Schalungsreibung [%]
14	PZ 35 F	0,1	100
4	PZ 35 F	0,2	99
8	PZ 35 F	0,3	109
12	PZ 45 F	0,4	163

Tabelle 11

Zwischen Gleitgeschwindigkeiten von 0,1 bis 0,3 m/h ist der Wert der Schalungsreibung praktisch konstant; die ermittelten Schwankungen dürften zufälliger Natur sein. Die erhebliche Zunahme der Schalungsreibung bei Wand 12 bei

gegenüber Wand 8 nur gering gesteigerter Gleitgeschwindigkeit muß auf die Verwendung eines anderen Zements zurückgeführt werden.

6.3.4 Einfluß der Zemente und der Zusatzmittel auf die Schalungsreibung

Mit gleicher Gleitgeschwindigkeit wurden die Versuchswände 1; 2; 3; 11 und 5 erstellt; bei Wand 12 war die Gleitgeschwindigkeit höher.

Wand	Zement/ Zusatz	Schalungsreibung [%]
1	PZ 35 F	100
2	PZ 35 F EFA-Füller	116
3	HOZ 45 L	119
11	HOZ 45 L EFA-Füller	137
5	PZ 35 F w/z = 0,4 Verflüssiger	125
12	PZ 45 F	157

Tabelle 12

Unter sonst gleichen Bedingungen steigt bei Verwendung von gegenüber PZ 35 F feiner gemahlenen Zementen die Schalungsreibung auf 119 % (HOZ 45 L) bzw. 157 % (PZ 45 F); die Erhöhung des Mehlkorngelhalts durch EFA-Füller bringt bei PZ 35 F eine Schalungsreibung von 116 % und bei HOZ 45 L von 137 %. Eine Verringerung des Wassergehalts (w/z = 0,4 gegenüber w/z = 0,54) erhöht die Schalungsreibung auf 125 %.

6.3.5 Einfluß der Zeit zwischen den Hubvorgängen auf die Schalungsreibung

Bei Wand 1 erfolgte das Heben der Schalung bauüblich in zeitlichen Abständen von ca. 1 Std., während bei Wand 13 die Hübe im zeitlichen Abstand von ≤ 15 Min. ausgeführt wurden.

Wand	Pausenzeit	Schalungsreibung [%]
1	≥ 1 Std.	100
13	≤ 15 Min.	49

Tabelle 13

Eine Verringerung der Zeit zwischen zwei Hubvorgängen von 1 Std. auf ca. 15 Min. bewirkt einen starken Abfall der Schalungsreibung auf 49 %.

6.4 Druckfestigkeit und Raumgewicht des Betons der Versuchswände

6.4.1 Durchführung der Prüfung

Aus allen Versuchswänden und aus einer Ortbetonwand (vgl. Punkt 6.6) wurden im Naßbohrverfahren Bohrkern \varnothing 100 mm entnommen, aus deren mittlerem Bereich mit einer Steinsäge naß 100 mm hohe Zylinder zur Druckfestigkeitsprüfung geschnitten wurden (Bild 36). Die Druckflächen wurden naß rechtwinklig geschliffen. Die Durchführung der Druckfestigkeitsprüfung erfolgte mit lufttrockenen Prüfkörpern gem. DIN 1048. Zur Zeit der Prüfung war der Beton der Versuchswände rd. 27 Monate, die zum Vergleich mituntersuchte Ortbetonwand ca. 23 Monate alt.

Einzelne Zylinder wiesen eine geringere Höhe als 100 mm auf, da im Bereich der vorgesehenen Sägeschnitte Bewehrungsstäbe angetroffen wurden. Soweit die Kantenlänge des Probekörpers um mehr als 10 % vom Durchmesser abwich (DIN 1048, Teil 2, 5.1.1), erfolgte eine Umrechnung der gemessenen Druckfestigkeit nach /48/ mit der

Gleichung
$$\beta_c \approx \beta_{c1} \cdot \frac{2 + \frac{d}{h}}{3}$$

mit β_{c1} für ein Verhältnis $h/d = 1$

d = Zylinderdurchmesser

h = Zylinderhöhe

Alle Meßwerte des Raumgewichts und der Druckfestigkeitsprüfung sind in den Tabellen 25 bis 27 zusammengestellt; Tabelle 28 zeigt einen Vergleich zwischen am Würfel nach 7 Tagen ermittelten Druckfestigkeiten sowie den Erwartungswerten der Betondruckfestigkeit mit den Werten der Probekörper aus den Versuchswänden.

Die Erwartungswerte der Würfeldruckfestigkeit sind nach den Angaben aus /48/ mit mittleren Werten - zusammengestellt in Tabelle 29 - errechnet worden.

6.4.2 Beurteilung der ermittelten Betondruckfestigkeiten der Versuchswände

Die in Tabelle 27 zusammengestellten Werte der an Bohrkernen aus den Versuchswänden ermittelten Druckfestigkeiten des Betons zeigen, daß auch sehr hohe Betongüten (B 55 und besser) bei geeigneter Zusammensetzung des Betons im Gleitschalungsbau erreicht werden können. Die höchsten Druckfestigkeiten ergaben die Versuchswände Nr. 7 (gebrochenes Korn, Zugabe von EFA-Füller) mit einer mittleren Zylinderdruckfestigkeit von $85,9 \text{ N/mm}^2$ und Nr. 2 ("Grundmischung" mit Zugabe von EFA-Füller) mittlere Zylinderdruckfestigkeit $71,7 \text{ N/mm}^2$.

Tabelle 28, letzte Spalte, enthält das Verhältnis der Mittelwerte der gemessenen Zylinderdruckfestigkeiten des Betons aus den Versuchswänden und den aus Würfelprüfungen errechneten niedrigsten Erwartungswerten der Betondruckfestigkeiten. Es fällt auf, daß alle Betonmischungen mit Zusatz von EFA-Füller (Wände Nr. 2, 7, 10, 11) diesen unteren Erwartungswert überschreiten; bei den anderen Betonmischungen ist dies lediglich bei Wand Nr. 5 (mit besonders niedrigem w/z-Wert von 0,4) und Wand Nr. 12 (PZ 45 F) der Fall. Eine mögliche Erklärung ist, daß durch die verbesserte Grundstandfestigkeit des Betons mit Zusatz von EFA-Füller eine sonst eintretende Gefügestörung des Betons beim "Entschalen" infolge Höherziehens der Gleitschalung vermieden wird. Der Einfluß der Zugabe des EFA-Füllers wird besonders deutlich, wenn in dieser Hinsicht die Werte von

sonst gleichen Betonzusammensetzungen der Versuchswände gegenübergestellt werden (siehe Tabelle 30).

6.5 Biegezugfestigkeit des Betons der Versuchswände

6.5.1 Zweck der Prüfung

Falls die Befürchtung zutrifft, daß durch den Gleitvorgang der Schalung an der Betonaußenseite Zugspannungen auftreten, deren Größe zu horizontalen Rissen im Beton führen kann, müßte die Biegezugfestigkeit bei Prüfkörpern aus dem Randbeton der Wände im Versuch deutlich gegenüber üblichen Werten herabgesetzt sein. Da die zur Feststellung der Karbonatisierungstiefe vorgesehenen Endscheiben der aus den Versuchswänden entnommenen Bohrkerne ohnehin zerbrochen werden mußten, bot sich an, dies im Rahmen einer Biegezugprüfung durchzuführen und dabei die Biegezugspannungen im Bruchzustand zu ermitteln.

6.5.2 Durchführung der Biegezugprüfung

Die abgesägten Endscheiben der Bohrkerne (siehe Abschnitt 6.4.1) wurden einer Biegezugprüfung unterworfen. Die Prüfkörper mit einer Stützweite von 70 mm waren dabei frei drehbar gelagert und mit einer Streckenlast in der Mitte der Stützweite belastet. Zum Ausgleich von Unebenheiten wurden an den Last- und Auflagerpunkten Hartfilzstreifen 4 x 10 mm unterlegt.

Bild 37 und die Fotos 63 und 64 zeigen den Versuchsaufbau.

Die ursprüngliche Wandaußenseite befand sich bei der Prüfung unten, also in der durch die Last erzeugten Zugzone. Die Prüfkörper waren so angeordnet, daß die Bruchfläche in Richtung der ursprünglichen Horizontalen der Wand lag.

Tabelle 31 enthält alle Meßwerte. Bei der Ermittlung der Biegezugspannung wurden die gemessene Höhe und Breite der Bruchfläche zugrunde gelegt.

6.5.3 Auswertung der Biegezugprüfung

Die Biegezugfestigkeit eines Betons läßt sich nach /48/ aus der Druckfestigkeit des Betons mit

$$\beta_{BZ} = k \cdot \beta_D^{2/3}$$

ermitteln, wobei k bei Prüfung von Biegezugbalken mit zwei Einzellasten gem. DIN 1048 zwischen 0,35 und 0,56 liegt. Tabelle 32 enthält die an Biegezugbalken gem. DIN 1048 ermittelten k-Werte der Betone für die Versuchswände; in Tabelle 33 sind die aus der Biegezugprüfung der Endscheiben der Bohrkerne aus den Versuchswänden errechneten k-Werte zusammengestellt. Um den Einfluß der Schalhaut deutlich zu machen, wurden in Tabelle 33 die Verhältnismerte $k_{\text{Bohrkern}}/k_{\text{Biegebalken}}$ ermittelt; Tabelle 34 zeigt die nach Schalungsarten geordnete Zunahme dieser k-Werte.

Die an den Endscheiben der Bohrkerne ermittelten k-Werte sind in ihrer Größe nicht direkt mit an Biegebalken nach DIN 1048 gewonnenen Werten vergleichbar, da

- a) der Beton der Versuchswände ein wesentlich höheres Alter aufwies,
- b) der Spannungsgradient in den nur 30 mm dicken Scheiben sehr viel steiler als in den Biegebalken verläuft und

- c) der Einfluß der Karbonatisierung der Randzone auf die Größe der Biegezugfestigkeit nicht bekannt ist.

Trotzdem kann das Verhältnis zwischen den am Beton der Bohrkerne und den am Biegebalken ermittelten k -Werten wertvolle Hinweise darauf liefern, inwieweit durch die unterschiedlichen Schalungsoberflächen eine Veränderung der Biegezugfestigkeit eintritt.

Um direkte Vergleichswerte zwischen gegliederten und in Ortbetonbauweise erstellten Wänden zu erhalten, wurden aus drei weiteren Bauteilen Bohrkerne entnommen und wie die Proben aus den Versuchswänden geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 32 zusammengestellt. Dabei handelt es sich bei den Prüfkörpern O/1 bis O/6 um Bohrkerne aus Ortbetonwänden, die kurz nach den gegliederten Versuchswänden erstellt und zusammen mit ihnen mit CO_2 bewittert wurden. Die Prüfkörper O/7 bis O/11 stammen aus dem Steg einer Spannbetonbrücke, Betonalter bei Prüfung ca. 30 Jahre. Die Prüfkörper O/12 bis O/19 wurden einem im eigenen Institut hergestellten Stahlbetonbalken entnommen, Betonalter bei Prüfung ca. 6 Monate. Der Beton der Proben O/1 bis O/11 wurde mit Portlandzement, der Proben O/12 bis O/19 mit Hochofenzement hergestellt.

6.5.4 Beurteilung der Ergebnisse der Biegezugprüfung

Die überwiegende Anzahl der am Beton der Bohrkerne ermittelten k -Werte liegt über $k = 0,35$ und damit in einer Größenordnung, die auch für im Ortbeton erstellte Wände zu erwarten ist. Dieser Wert wird lediglich bei 11 von insgesamt 230 Probekörpern unterschritten. Es kann daher festgestellt werden, daß eine durch den Gleitvorgang hervorgerufene generell auftretende Rißbildung in den Außenflächen der Versuchswände nicht vorgefunden wurde. Das zeigt auch der Größenvergleich der an den Bohrkernen aus den Versuchswänden gewonnenen mit an Proben aus Ortbetonbauteilen ermittelten k -Werten (Tabellen 33 und 35).

Tabelle 14 zeigt deutlich den Einfluß der Schalungsoberfläche auf die Biegezugfestigkeit des Wandbetons. Die geringste Biegezugfestigkeit des Betons trat bei Verwendung von Holzschalung auf; die größte Biegezugfestigkeit erbrachte die Verwendung der Mehrschichtenplatte als Schalungsmaterial; die Werte des Betons mit Stahlblechschalung liegen dazwischen. Während das Abreiben der Betonoberfläche bei der Holzschalung eine Verbesserung brachte, verschlechterte sich die Biegezugfestigkeit durch das Abreiben bei Verwendung von Mehrschichtenplatte und Stahlblech als Schalungsmaterial. Die Zahlenwerte bestätigen den subjektiven Eindruck bei Erstellung der Versuchswände, daß die durch die Holzschalung aufgerissene Betonoberfläche beim Abreiben durch Beseitigung der Gefügestörungen verbessert wird, während der mit geschlossener Oberfläche aus einer Gleitschalung mit glattem Schalungsmaterial austretende Beton

nachträglich oberflächlich aufgerauht und wahrscheinlich auch durch erzwungene Bewegung von Zuschlagkörnern im Gefüge gestört wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß ein Abreiben der Betonoberfläche bei Verwendung einer Holzschalung unbedingt nötig, bei einer Schalung aus Mehrschichtenplatte oder Stahlblech im Hinblick auf das Betongefüge der Wandoberfläche jedoch nicht nur unwirksam, sondern sogar nachteilig ist und deshalb unterbleiben sollte. Zwar kann durch Abreiben leichter ein einheitliches Aussehen der Betonoberfläche erreicht werden, dafür sollte jedoch nicht auf die Vorteile eines dichten, ungestörten Betongefüges verzichtet werden, das die Dauerhaftigkeit von Bauwerken entscheidend beeinflußt.

Schalung	$\frac{k_{\text{Biegebalken}}}{k_{\text{Bohrkerne}}}$ Mittelwerte in [%]
Holz	138
Holz Betonoberfläche abgerieben	143
Mehrschichtenplatte	151
Mehrschichtenplatte Betonoberfläche abgerieben	148
Stahlblech	145
Stahlblech Betonoberfläche abgerieben	131

Tabelle 14

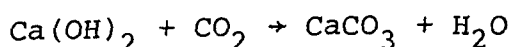
Mittelwerte der prozentualen Zunahme der Biegezugfestigkeit des Wandbetons gegenüber den Werten der Balkenversuche.

$$k = \frac{\beta_{\text{BZ}}}{\beta_{\text{D}}^{2/3}}$$

6.6 Karbonatisierung der Versuchswände

6.6.1 Allgemeines

Die Bewehrungseinlagen im Stahlbeton werden durch die Alkalität des Porenwassers - verursacht durch das bei der Hydratation des Zements freigesetzte Ca(OH)_2 - infolge Passivierung der Stahloberfläche gegen Korrosion geschützt. Die Umwandlung von Ca(OH)_2 in CaCO_3 infolge des CO_2 -Gehalts der Luft bewirkt ein Absinken des pH-Wertes des Betons von ursprünglich $\text{pH} = 12,6$ auf niedrigere Werte; der Beton karbonatisiert.



Sinkt der pH-Wert der Porenwasserlösung des Betons unter 9, ist der Korrosionsschutz der Bewehrung nicht mehr dauerhaft gesichert. Da die bereits karbonatisierte Schicht das weitere Eindringen von CO_2 behindert, aus der Tiefe des Betons aber alkalisches Porenwasser zur Betonaußenseite vordringen kann, stellt sich in einer gewissen Entfernung von der Oberfläche ein Gleichgewichtszustand ein ("Endkarbonatisierungstiefe"). Um die Bewehrung dauerhaft gegen Korrosion zu schützen, muß die Betondeckung der Stahleinlagen im Beton größer als die zu erwartende Endkarbonatisierungstiefe gewählt werden, wobei die größere Karbonatisierungstiefe im Bereich von Rissen zu beachten ist.

Um geringe Karbonatisierungstiefen zu erreichen, ist ein dichter Beton mit hohem Diffusionswiderstand gegen das Eindringen von CO_2 anzustreben, der außerdem weitgehend rissefrei bleiben muß.

Zur Feststellung, ob die Reibung der Gleitschallung zu Rißbildungen oder Gefügestörungen führt, durch die im Vergleich zu Ortbeton größere Karbonatisierungstiefen eintreten, erfolgte eine Bewitterung der Versuchswände mit CO_2 mit anschließender Messung der vorgefundenen Karbonatisierungstiefe.

6.6.2 Bewitterung der Versuchswände

Nach Fertigstellung der Decke des Gebäudes, von dem die Versuchswände einen Teil der Kellerwände bilden, erfolgte im Zeitraum zwischen dem 04.09.82 und dem 19.05.83 die Bewitterung mit CO_2 .

Obwohl einige Wandflächen wegen ihrer Lage an der Außenseite des Gebäudes nicht in die Untersuchungen einbezogen werden konnten, wurde der Bewitterung der gesamten Wände gegenüber Lagerung und Bewitterung von Bohrkernen im Klimaraum der Vorzug gegeben, da das Herausbohren der Kerne erst nach erfolgter Karbonatisierung stattfand, dabei hervorgerufene Gefügeschäden das Ergebnis also nicht mehr beeinflussen können und außerdem bei unklaren Ergebnissen während der Auswertung ohne großen Aufwand zusätzliche Proben der Wand entnommen werden konnten.

Die Bewitterung erfolgte durch Einleitung von Flaschengas mit CO_2 -angereicherter Luft. Da nicht bekannt ist, inwieweit hohe CO_2 -Gehalte noch sichere Vergleichswerte zu der wesentlich langsamer ablaufenden natürlichen Karbonatisierung des Betons liefern, wurde der CO_2 -Gehalt auf ≤ 2 Vol-% beschränkt. Durch unvermeidliche Undichtigkeiten des Gebäudes fiel der CO_2 -Anteil ständig wieder ab; bei CO_2 -Gehalten von $< 0,1$ Vol-% wurde dieser wieder auf max.

2 Vol-% angehoben. Die Kontrolle des CO_2 -Gehalts erfolgte in regelmäßigen Abständen mit einem Gasspürgerät und Prüfröhrchen. Durch den auch von äußeren Zufälligkeiten (Windstärke, Betreten der Räume) abhängigen Abfall des CO_2 -gehalts konnte keine exakte Bestimmung des Produkts CO_2 -Konzentration \times Zeit erfolgen. Eine näherungsweise Berechnung ergab, daß die Versuchswände eine Karbonatisierungstiefe erreicht haben, die etwa der einer 15 Jahre alten Wand mit natürlichen Umweltbedingungen entspricht. Damit dürfte die Endkarbonatisierungstiefe fast erreicht sein.

6.6.3 Messung der Karbonatisierungstiefe

Nach Zerbrechen der aus den Bohrkernen gewonnenen Endscheiben (siehe Abschnitt 6.5) wurden die frischen Betonbruchflächen mit einer 2-%igen Phenolphthalein-Lösung eingesprüht. Dabei zeigen Bereiche mit pH-Werten über 9 eine deutliche Rotfärbung. Phenolphthalein als Indikator für die Karbonatisierungstiefe hat den großen Vorteil, daß der Farbumschlag bei einem pH-Wert erfolgt, der die Grenze für eine mögliche Korrosion der Bewehrung anzeigt.

Alle Werte der gemessenen Karbonatisierungstiefe sind in den Tabellen 37 und 38 zusammengefaßt und auf den Bildern 39 bis 44 dargestellt. Bedingt durch den unregelmäßigen Verlauf der Karbonatisierungsgrenze mußten die minimalen und maximalen Werte der Karbonatisierungstiefe angegeben werden. Bei der Angabe der minimalen Karbonatisierungstiefe bedeutet ein Wert 0, daß bis an die Betonoberfläche heran noch Bereiche mit Werten $\text{pH} > 9$ vorhanden waren. Bei Proben, deren Randzone auf der gesamten Probenlänge durchkarbonatisiert war, ist dieses

Tiefenmaß als geringste Karbonatisierungstiefe angegeben. Als max. Karbonatisierungstiefe ist der Spitzenwert im Bereich des ungestörten Betongefüges angegeben. Verhältnismäßig oft wurde beobachtet, daß an den Korngrenzen der Grobzuschläge die Karbonatisierungstiefen wesentlich größer als im übrigen Bereich waren. Diese Spitzenwerte sind in der Tabelle als eingeklammerte Werte in der Spalte "max. Karbonatisierungstiefe" aufgeführt. Bild 39 veranschaulicht das Prinzip der Feststellung der Meßwerte.

6.6.4 Beurteilung der ermittelten Karbonatisierungstiefen

6.6.4.1 Generelle Beurteilung

In Heft 255 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton /49/ macht SCHIESSL in Bild 19 Angaben über den Zusammenhang zwischen mittlerer Endkarbonatisierungstiefe und Betonfestigkeit und in Bild 20 über die Zunahme der Karbonatisierungstiefe mit der Zeit. Bei Einordnung der Versuchswände entsprechend den Umweltbedingungen in die Gruppe "Beton im Freien unter Dach" ist danach bei einer Betondruckfestigkeit von $43,3 \text{ N/mm}^2$ eine mittlere Endkarbonatisierungstiefe von $6,2 \pm 2,6 \text{ mm}$ zu erwarten. Die Versuchswände haben bei einem (der Gaskonzentration bei der Bewitterung entsprechenden) rechnerischen Lebensalter von 15 Jahren ca. 90 % der Endkarbonatisierungstiefe erreicht. Die Meßergebnisse der zusammen mit den Gleitschalungswänden bewitterten Ortbetonwand (vgl. Tabelle 36) bestätigen den Erwartungswert nach Heft 255 mit einer rechnerischen mittleren Endkarbonatisierungstiefe von $5,3/0,9 = 5,9 \text{ mm}$ sehr gut.

Die Betondeckung der Bewehrungsstähle muß nach DIN 1045 bei Flächentragwerken im Freien mit einer Betongüte \geq B 25 mindestens 1,5 cm betragen; dieses Maß ist bei Verwendung von Gleit- oder Kletterschalungen auf 2,0 cm zu vergrößern. Karbonatisierungstiefen dieser Größenordnung wurden bei den Versuchswänden nur vereinzelt bei nicht nachgeriebenen, mit Holzschalung erstellten Wandteilen gemessen, also nur bei einer nicht bauüblichen Ausführung. Die Karbonatisierungsspitzen entlang den Oberflächen großer Zuschlagkörner reichen zwar häufig tiefer als 20 mm, sind aber hinsichtlich des Korrosionsschutzes als relativ harmlos anzusehen, da diese Spitzen nur selten einen Bewehrungsstahl treffen können (zwischen Bewehrung und Schalung paßt kein Größtkorn) und außerdem wie auch sonst bei Rissen mit geringer Rißbreite der Bewehrungsstahl dadurch kaum korrosionsgefährdet ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die gemessenen Karbonatisierungstiefen überwiegend in einer Größenordnung lagen, wie sie auch bei in Ortbeton erstellten Wänden vorgefunden wird. Bei üblicher, ordnungsgemäßer Bauausführung reicht die Betondeckung gem. DIN 1045 bei in Gleitschalung erstellten Bauteilen aus. Befürchtungen, daß bei Gleitschalungsbauten die Karbonatisierungstiefen infolge geschädigter Betonoberfläche wesentlich größer sind als bei Ortbetonbauten, wurden durch die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens nicht bestätigt.

6.6.4.2 Einfluß der Schalungsoberfläche und der Nachbehandlung der Betonoberfläche auf die Karbonatisierungstiefe

Die Bilder 45 bis 48 zeigen die Meßwerte der Karbonatisierungstiefen, jeweils nach Schalungsarten geordnet. Bei fast allen Wandflächen mit nicht abgeriebener Betonoberfläche führte die Verwendung einer Holzschalung zu wesentlich größeren Karbonatisierungstiefen als die Verwendung einer glatten Schalung (Mehrschichtenplatte oder Stahlblech). Eine Ausnahme bilden hier nur die Versuchswände Nr. 2 und 7, beide mit Portlandzement und Füllerzusatz betoniert.

Die Mehrschichtenplatte wie auch Stahlblech als Schalungsmaterial bewirkten Karbonatisierungstiefen in gleicher Größenordnung sowohl bei nicht abgeriebener wie auch bei abgeriebener Betonoberfläche.

Während das Abreiben der Betonoberfläche bei Verwendung von Holzschalung fast immer eine deutliche Verringerung der Karbonatisierungstiefe zur Folge hatte, war dieses Abreiben bei mit glatter Schalung erstellten Wandflächen nicht nur weitgehend wirkungslos, sondern z. T. sogar deutlich nachteilig, da hierdurch nachfolgend die Karbonatisierungstiefe vergrößert wurde.

6.6.4.3 Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf die Karbonatisierungstiefe

Vergleichen lassen sich die Versuchswände Nr. 1 und Nr. 4 ($v = 0,2/h$) mit den Wänden Nr. 14 ($v = 0,1 \text{ m/h}$) und Nr. 8 ($v = 0,3 \text{ m/h}$); die Wand Nr. 12 ($v = 0,4 \text{ m/h}$) ist infolge der Ver-

wendung eines anderen Zements nur bedingt für Vergleiche geeignet. Die gemessenen Karbonatisierungstiefen liegen bei den Wänden Nr. 1, 4, 8 und 14 in gleicher Größenordnung; es ist kein ausgeprägter Einfluß der Gleitgeschwindigkeit erkennbar. Die Wand Nr. 12 wies die geringsten Karbonatisierungstiefen auf, zeigt also, auch wenn ein direkter Vergleich nicht möglich ist, daß auch hohe Gleitgeschwindigkeiten keine Schäden der Betonoberfläche mit nachfolgender tiefreichender Karbonatisierung hervorrufen.

6.6.4.4 Einfluß der Betonzusammensetzung auf die Karbonatisierungstiefe

Die mit Hochofenzement erstellten Wände Nr. 3 und Nr. 11 weisen Karbonatisierungstiefen auf, die deutlich über den Meßwerten der anderen Wände liegen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die Verwendung von Hochofenzement generell zu einer schnelleren und tieferen Karbonatisierung des Betons führt als die Verwendung von Portlandzement, da einerseits die im HOZ vorhandenen geringeren Mengen an Ca(OH)_2 schneller umgewandelt werden, die dann gebildeten ebenfalls nur geringeren Mengen an CaCO_3 jedoch nur wenig den Diffusionswiderstand des Betons vergrößern. In der Fachliteratur konnten leider keine verwertbaren Angaben über die Zunahme der Karbonatisierungstiefe bei Verwendung von HOZ gegenüber PZ, aber sonst gleichen Verhältnissen, gefunden werden. Es kann daher nicht gesagt werden, ob die Verwendung von HOZ für Gleitschalungsbeton noch zusätzlich die Karbonatisierungstiefe vergrößert.

Im Vergleich zu Wand Nr. 8 traten bei Wand Nr. 12 wesentlich mehr und höhere Spitzenwerte

der Karbonatisierungstiefe auf. Dies dürfte auf die aus der Verwendung von PZ 45 F herrührende hohe Schalungsreibung zurückzuführen sein (vgl. Abschnitt 6.3.4).

Ein größerer Einfluß der Zugabe des EFA-Füllers zum Beton auf die Karbonatisierungstiefe ist nicht erkennbar. Die für einen direkten Vergleich geeigneten Versuchswände Nr. 2, 7, 11 und 10 (mit Füllerzusatz) zeigen gegenüber den Wänden Nr. 1, 6, 3 und 9 (ohne Füllerzusatz) wenig Abweichungen in den gemessenen Werten.

Die Verwendung von gebrochenem Korn (Splitt) als Betonzuschlag bei den Versuchswänden Nr. 6 und 7 brachte im Vergleich zu den Wänden Nr. 1 und 2 (Zuschlag Rundkorn) wesentlich geringere Werte der gemessenen Karbonatisierungstiefe. Die bisher weitgehend anerkannte Empfehlung, Splitt als Betonzuschlag für Gleitschalungsbauten möglichst nicht zu verwenden, erscheint revisionsbedürftig. Da trotz erhöhter Schalungsreibung des Betons mit Splittzuschlag gegenüber dem Beton mit rundkörnigem Zuschlag die Karbonatisierungstiefen geringer waren, ist die bisherige Modellvorstellung für das Entstehen von Oberflächenschäden und Rißbildung im gleitgeschalteten Beton (Schalungsreibung erzeugt Zugspannungen im Beton; dadurch kann eine Rißbildung in der Oberfläche auftreten; folglich ist hohe Schalungsreibung ungünstig.) in dieser einfachen Form nicht aufrechtzuhalten. Eine Deutung der Zusammenhänge wird in Abschnitt 6.6.5 versucht.

Die Verwendung eines sandreichen Zuschlags (Sieblinie C) bei den Versuchswänden Nr. 9 und Nr. 10 brachten gegenüber den vergleichbaren

Wänden Nr. 1 und Nr. 2 keine Verringerung der Karbonatisierungstiefen, obwohl die Messung der Schalungsreibung nur geringe Reibkräfte aufzeigte. Während die Wände Nr. 10 und Nr. 2 (beide mit Zusatz von EFA-Füller) etwa gleiche Karbonatisierungstiefen zeigten, waren diese bei der Wand Nr. 9 (Sieblinie C) im Vergleich zu Wand Nr. 1 (Sieblinie A/B) sogar deutlich größer. Hier muß allerdings berücksichtigt werden, daß sandreiche Betone eigentlich höhere Zementleimmengen erfordern, die Versuchswände jedoch mit gleichen Zement- und Wassermengen erstellt wurden. Wie auch das niedrigere Raumgewicht des Betons der Wand Nr. 9 zeigt (Tabelle 27), weist dieser Beton daher einen höheren Porenanteil auf, der die Karbonatisierung begünstigt. Dies wurde bei Wand Nr. 10 anscheinend durch den Füllerzusatz verhindert. Eine generelle Verbesserung des Karbonatisierungsverhaltens der Gleitbauteile ist durch Verwendung sandreicher Zuschläge nicht zu erwarten.

6.6.4.5 Einfluß der Größe der Betondeckung auf die Karbonatisierungstiefe

Die wenigen Meßwerte lassen keine gesicherte Aussage über den Einfluß der Größe der Betondeckung zu; die Tendenz bei Vergleich der Meßwerte verschiedener Versuchswände ist uneinheitlich. Lediglich bei Verwendung von Holz als Schalungsmaterial scheinen die Karbonatisierungstiefen bei 3 cm Betondeckung etwas geringer als bei 2 cm Betondeckung auszufallen. Es könnte hier allerdings auch nur ein Zufallsergebnis vorliegen. Wahrscheinlich ist die Karbonatisierungstiefe weitgehend unabhängig vom Maß der Betondeckung der Bewehrung. Dies ist auch einleuchtend, wenn man berücksichtigt, daß

die Spannungs- und Verformungsverhältnisse des Betons zwischen den im Verhältnis zum Korn-durchmesser des Zuschlags großen Maschen des Bewehrungsnetzes vom Maß der Betondeckung kaum beeinflußt werden können.

6.6.5 Modellvorstellung zur Erklärung der Karbonatisierungsspitzen

Die Schalungsreibung F_R übt auf das Zuschlagkorn sowohl eine nach oben gerichtete Vertikalkraft wie auch ein Drehmoment aus. Während die Vertikalkraft, solange genügend Auflast vorhanden ist, leicht vom Grobkorn auf das umgebende Feinkorn und den Mörtel übertragen werden kann, ist das Rotieren des Korns infolge des Drehmoments bei einem ideal runden Korn nur durch Scherkräfte zwischen Kornoberfläche und Mörtel zu verhindern. Die hier aufnehmbaren Kräfte sind aber im jungen Beton naturgemäß nur gering.

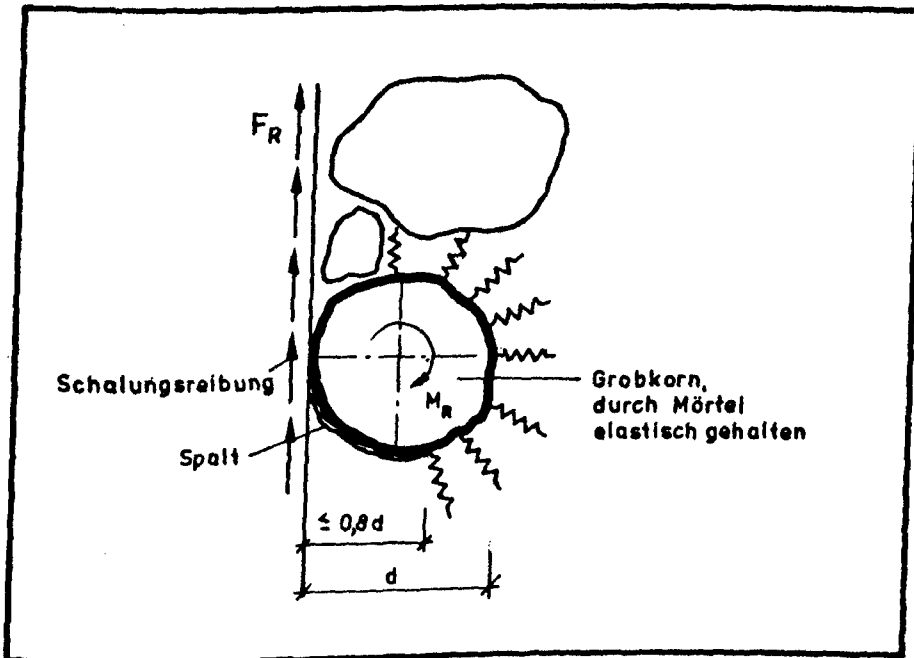


Bild 7

Grobkorn in der Randzone einer in Gleitschalung erstellten Wand.

Die Beobachtung der Karbonatisierung an den Proben aus den Versuchswänden zeigte, daß diese Karbonatisierungsspitzen an der Kornaußenseite bis zu einer Tiefe von max. 80 % des Korndurch-

messers reichten. Es scheint, daß die nicht ideal runden Zuschlagkörner nur eine geringe Drehbewegung ausführen können, dabei jedoch infolge Unregelmäßigkeiten in der Oberflächenstruktur und mit Unterstützung der Normalkraft aus Schalungsreibung nach oben "auflaufen", wobei an der Kornunterseite ein Spalt zwischen Korn und Mörtel entsteht.

Das hier vorgestellte Modell erklärt die wesentlich geringere Karbonatisierungstiefe infolge "Spaltbildung" bei Verwendung von gebrochenem Korn. Das Drehmoment aus der Schalungsreibung kann bei einem eckigen Zuschlagkorn sehr viel besser als bei einem Rundkorn durch ein Kräftepaar aufgenommen werden; die Lagerung ist wesentlich steifer.

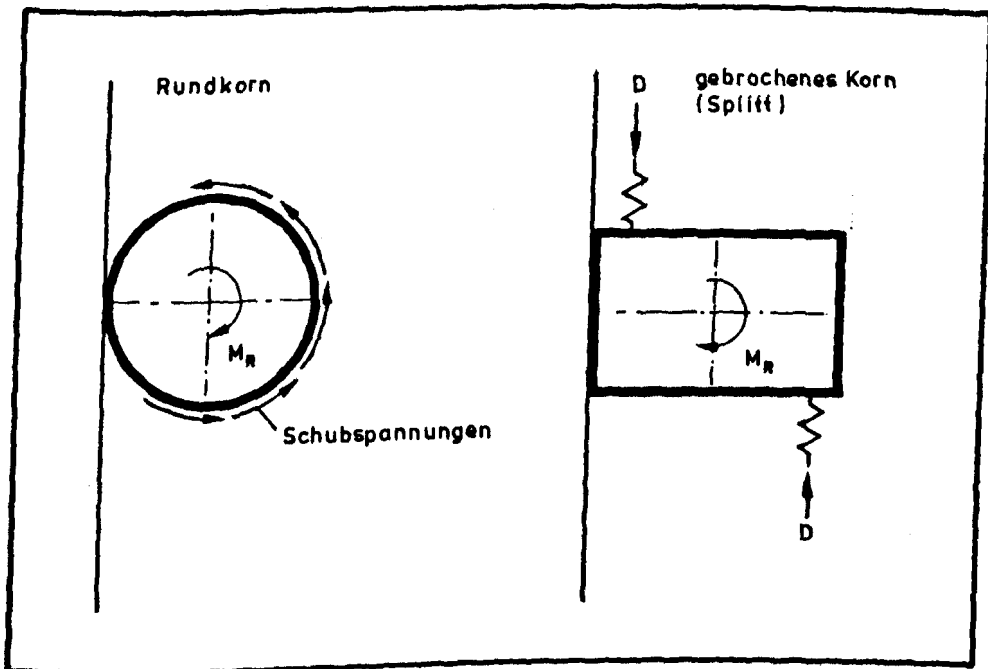


Bild 8

Aufnahme des Drehmoments aus Schalungsreibung bei Verwendung von Rundkorn und gebrochenem Korn.

Diese Modellvorstellung erklärt auch, warum bei den Versuchswänden Nr. 9 (sandreicher Zuschlag) und Nr. 13 (Gleitschalung in kurzen zeitlichen Abständen gezogen), bei denen nur geringe Werte der Schalungsreibung auftraten, trotzdem Spitzenwerte der Karbonatisierungstiefe wie bei den vergleichbaren anderen Versuchswänden gemessen wurden. Die Reibkräfte zwischen Mörtel und Schalung waren zwar geringer, die Reibkraft reichte aber immer noch zum Drehen des Grobkorns.

7. Messung der Karbonatisierungstiefe an ausgeführten Bauwerken

7.1 Allgemeines

Vorgesehen war, an mehreren in Gleitschalung erstellten Bauwerken die vorhandenen Karbonatisierungstiefen zu messen. Es konnte jedoch nur von einer Firma im Besitz eines geeigneten Objekts die Zustimmung erhalten werden, durch Anbohren des Bauwerks diese Messungen durchzuführen. Alle anderen angesprochenen Firmen befürchteten Beschädigungen ihrer Bauten und verweigerten die Zustimmung. Das Fehlen eines geeigneten Meßgeräts, um zerstörungsfrei die Karbonatisierungstiefe bestimmen zu können, ist zu bedauern.

7.2 Durchführung der Messung

Die Karbonatisierungstiefe wurde am 21.01.80 an zwei Silozellen in Brake gemessen. Die Silos waren bei Durchführung der Messung 8 Jahre alt. Die Betonoberfläche war abgerieben; an der Struktur konnte aber noch erkannt werden, daß für die Gleitschalung eine Schalhaut aus Brettern benutzt wurde. Bild 49 zeigt die gesamte Siloanlage im Grundriß; gemessen wurde an den Silos I und II. Die Lage der untersuchten Bereiche wurde so gewählt, daß sowohl gegen direkten Witterungsangriff zumindest teilweise geschützte (1; 2) wie auch der Witterung voll ausgesetzte Stellen (3; 4) erfaßt wurden.

Es wurde jeweils auf der Oberfläche des Ortbetonfundaments (Bezeichnung "O"), im Anfahrbereich der Gleitschalung (1,0 m über OK Funda-

ment, Bezeichnung "A") und im normalen Gleitbereich (4,0 m über OK Fundament, Bezeichnung "G") gemessen.

Um Schwächungen des Bauwerks durch Entnahme von Bohrkernen zu vermeiden, wurde die Karbonatisierungstiefe an kegelförmig in den Beton gebohrten Löchern bestimmt, indem nach Wegblasen des Bohrstaubs und Aufsprühen einer 2%igen Phenolphthalein-Lösung die Grenze des Farbumschlags mit einem Tiefenmeßgerät bestimmt wurde. Dieses Verfahren hat sich gut bewährt, die Beschädigung des Bauwerks ist minimal, die Bohrarbeiten und Messungen sind schnell durchzuführen. Es ist lediglich zu beachten, daß beim Anbohren grober Zuschläge die Karbonatisierungsgrenze nicht sicher bestimmt werden kann; derartige Meßstellen dürfen nicht mit in die Auswertung einbezogen werden. Auf Bild 50 ist das Meßprinzip dargestellt.

7.3 Ergebnisse der Messung

Alle gewonnenen Meßwerte sind in Tabelle 39 zusammengestellt und in Tabelle 40 ausgewertet; Bild 51 zeigt die Häufigkeitsverteilung. Die in Tabelle 39 aufgeführten Werte sind die größten Karbonatisierungstiefen, die im Bereich der Bohrungen angetroffen wurden.

Die in Tabelle 40 angegebene erwartete maximale Endkarbonatisierungstiefe wurde auf der Grundlage von Literaturangaben unter der Annahme errechnet, daß im Beton nach 8 Jahren 70 % (geschützte Lage) bzw. 85 % (ungeschützt) der Endkarbonatisierungstiefe erreicht ist.

Die Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Anfangs- und Gleitbereich. Die gemessene Karbonatisierungstiefe war im Wandbereich bis zu doppelt so groß wie an der Oberkante des Ortbetonfundaments, wobei allerdings berücksichtigt werden muß, daß auf dem Fundament noch längere Zeit stehendes Wasser nach Regenfällen die Aussagefähigkeit der Messung für einen direkten Vergleich zwischen Ortbeton und in Gleitschalung erstellter Wand hier etwas fraglich macht.

Die zu erwartende Endkarbonatisierungstiefe liegt an allen Meßstellen weit unter der nach DIN 1045 vorgeschriebenen Betondeckung. Selbst in direkt aufgebohrten, mit dem Auge gut sichtbaren Rissen in der Wand wurde mit max. 14 mm eine Karbonatisierungstiefe festgestellt, die ebenfalls nicht bis zur Bewehrung reicht. Die in DIN 1045, 13.2.2, geforderte Erhöhung der Betondeckung um 0,5 cm bei Verwendung von Gleitschalung war nach den Ergebnissen der Messung der Karbonatisierungstiefe bei dem untersuchten Bauwerk unnötig.

8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

DIETRICH hat in seiner Dissertation /26/ an Naturzugkühlerschalen Wirtschaftlichkeitsvergleiche für Erstellung in Kletterschalung bzw. Gleitschalung durchgeführt. Dabei ging er bei Ermittlung des Zeitaufwands für das Nacharbeiten des Betons bei einer Gleitschalung von $0,1 \text{ h/m}^2$ Wandoberfläche aus. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen zur Festlegung der Schichtbesetzung sind in Tabelle 15 zusammengestellt.

Kühl- turm- höhe [m]	Gleit- geschwin- digkeit [m/Tag]	Leute je Schicht für						Gesamt- Schicht- besetzung [Personenzahl]
		Be- weh- ren	Beto- nie- ren	Scha- len	Glei- ten	Kran	Nach- arbei- ten	
100	3,0	7	7	1	4	1	4	24
	4,0	10	9	1	4	1	5	30
120	3,0	11	12	1	5	1	6	36
	4,0	15	16	1	5	1	7	45
140	3,0	15	15	1 - 2	7	1	7	46
	4,0	20	20	1 - 2	7	1	9	58
160	3,0	20	20	2	8	1	8	59
	4,0	25	26	2	8	1	10	72

Tabelle 15

Schichtbesetzung einer Kühlturmbaustelle nach DIETRICH - Betonoberfläche nach dem Gleiten abgerieben.

Da in diesem Forschungsbericht gezeigt wurde, daß bei Verwendung einer glatten Gleitschalung ein Nachreiben des Betons nicht nur weitgehend wirkungslos ist, in manchen Fällen sogar die Betonoberflächengüte verschlechtert, sollte auf diese Nacharbeit verzichtet werden. Setzt man

dann die von DIETRICH für Nacharbeiten bei Verwendung einer Kletterschalung für notwendig erachteten Personenzahlen auch bei der Gleitschalung an, ergibt sich die Festlegung der Gesamt-Schichtbesetzung einer Kühlturmbaustelle nach Tabelle 16.

Kühlturm- höhe [m]	Gleit- geschwin- digkeit [m/Tag]	Leute je Schicht für						Gesamt- Schicht- besetzung [Personenzahl]
		Be- weh- ren	Beto- nie- ren	Scha- len	Glei- ten	Kran	Nach- arbei- ten	
100	3,0	7	7	1	4	1	1	21
	4,0	10	9	1	4	1	1	26
120	3,0	11	12	1	5	1	1	31
	4,0	15	16	1	5	1	1	39
140	3,0	15	15	1 - 2	7	1	1 - 2	40
	4,0	20	20	1 - 2	7	1	1 - 2	50
160	3,0	20	20	2	8	1	2	53
	4,0	25	26	2	8	1	2	64

Tabelle 16

Schichtbesetzung einer Kühlturmbaustelle nach DIETRICH - Betonoberfläche nach dem Gleiten nicht abgerieben.

Die Schichtbesetzung der Baustelle reduziert sich auf im Mittel 88 %. Da die geringen Mehrkosten eines glatten Schalungsmaterials gegenüber der Verwendung von Holzbrettern als Gleitschalung minimal sind, liegt der wirtschaftliche Vorteil einer glatten Schalung und Verzicht auf das Nachreiben des Betons klar auf der Hand.

9. Folgerungen aus den Untersuchungen und Empfehlungen für die Baupraxis

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß auch im Gleitschalungsbau ein Beton hoher Güte (B 55 und besser) mit dichter, geschlossener Oberfläche ohne nachträgliches Abreiben der Betonoberfläche hergestellt werden kann, der nicht schneller und tiefer karbonatisiert als üblicher Ortbeton. Um dies zu erreichen, bedarf es jedoch einer zweckmäßigen Betonzusammensetzung sowie der Beachtung gewisser technologischer Regeln.

Das "Freiziehen" der Gleitschalung nach Fertigstellung der Bauteile wurde bisher für erforderlich gehalten, um auch den oberen Teil einer Wand abreiben und damit in der Ansicht den übrigen Oberflächen angleichen zu können. Bedingt durch die fehlende Auflast führt das Freiziehen jedoch fast zwangsläufig zu Schäden (Auflockerungen, waagerechte Risse) am Wandkopf. Wird auf das Abreiben der Wandoberflächen überhaupt verzichtet, kann der Wandkopf in der stillstehenden Gleitschalung wie üblicher Ortbeton betoniert werden. Die geringen Unterschiede der Oberflächenstruktur und evtl. in der Farbe des Betons erscheinen bei Abwägung gegenüber den Vorteilen dieser Ausführung unbedeutend. Da Gleitschalungen üblicherweise nach Erreichen der Sollhöhe demontiert und in Einzelteilen abgelassen werden, stellt das Betonieren des Wandkopfes in stillstehender Schalung und spätere Ausschalung keine Erschwernis des Bauablaufs dar; durch Wegfall der für das Freiziehen erforderlichen letzten Schichtbelegschaft kann sogar ein wirtschaftlicher Vorteil eintreten.

Die Messung der Schalungsreibung erbrachte erhebliche Unterschiede der Reibungskräfte in Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung und dem Zeitabstand zwischen den Hubvorgängen. Um geringen Schalungsverschleiß und wenig Beeinflussung der Betonoberfläche zu erhalten, sollten geringe Werte der Schalungsreibung angestrebt werden. In dieser Hinsicht als günstig hat sich die Verwendung von rundkörnigen Zuschlägen, sandreicher als üblich (also etwa Sieblinie C), mit normalen Zementen (PZ 35 F, HOZ 45 L) erwiesen. Feingemahlene Zemente (PZ 45 F) sowie hohe Fülleranteile bei Verwendung von HOZ erhöhen die Schalungsreibung erheblich und sollten daher vermieden werden.

Das Ziehen der Schalung in kurzen Zeitabständen gegenüber der bisher auf den Baustellen noch weitgehend üblichen Ruhezeit der Schalung von etwa einer Stunde brachte einen starken Abfall der Schalungsreibung und sollte daher grundsätzlich angewandt werden.

Empfehlungen für die Anwendung von Zusatzstoffen und Zusatzmitteln zum Beton lassen sich aus den Ergebnissen der Versuche nur wenige ableiten. Infolge hoher "Klebkraft" muß die Kombination von Hochofenzement mit hohem Fülleranteil (200 kg/m^3 Beton) als für den Gleitschalungsbau ungeeignet betrachtet werden. Inwieweit dies auch für geringere Fülleranteile gilt, kann wegen fehlender Versuchsergebnisse nicht gesagt werden; hier scheint jedoch Vorsicht bei der Anwendung angebracht.

Wie sich bei der Wand mit $w/z = 0,4$ und Zusatz von Verflüssiger gezeigt hat, steigt die Schalungsreibung an, wenn "Schmierstoff" fehlt. Ein

ausreichender Wasseranteil des Betons ist im Gleitschalungsbau erforderlich und kann nicht durch einen Verflüssiger ersetzt werden.

Solange nicht durch weitere Versuche geklärt ist, wie sich Betonzusatzmittel auf die Größe der Schalungsreibung auswirken, kann zumindest bei Mitteln auf organischer Basis nur zu äußerster Vorsicht geraten werden. Es besteht die Gefahr, daß hier unbeabsichtigt ein "Klebemörtel" erzeugt wird, der hohe Schalungsreibung hervorrufen kann.

Die Druckfestigkeit der Betone aus den Versuchswänden war fast immer geringer, als nach den Ergebnissen der Würfeldruckprüfung im Alter von 7 Tagen erwartet werden konnte. Die Betonzusammensetzung der für Gleitschalungsbauten vorgesehenen Betone sollte daher unter Berücksichtigung eines Vorhaltemaßes von ca. 20 % der angestrebten Druckfestigkeit festgelegt werden; dann kann erwartet werden, daß auch der Bauwerksbeton die angestrebte Druckfestigkeitsklasse sicher erreicht.

Die Verwendung eines glatten Schalungsmaterials (Mehrschichtenplatte oder Stahlblech) bringt wirtschaftliche Vorteile, weil auf das bisher übliche Nachreiben der Betonoberfläche verzichtet werden kann. Geeignete Betonzusammensetzungen können dem Abschnitt 6.2 entnommen werden.

Gebrochenes Korn (Splitt) ist als Zuschlag für Gleitschalungsbauten durchaus geeignet, im Hinblick auf die eintretenden Karbonatisierungstiefen einem rundkörnigen Zuschlag z. T. sogar überlegen.

Als geeignet bzw. erforderlich für den Gleit-schalungsbau kann zusammenfassend angegeben werden:

- Verwendung eines glatten Schalungsmaterials (Mehrschichtenplatte mit Kunstharzbeschichtung oder Stahlblech), auf Abreiben der Betonoberfläche kann verzichtet werden.
- Schalung weitgehend kontinuierlich hochziehen, Ruhezeit der Schalung deutlich weniger als die bisher weitgehend übliche 1 Stunde.
- Kopfbende der Wand bei stillstehender Gleit-schalung wie üblichen Ortbeton betonieren.
- Keine besonders fein gemahlten Zemente verwenden; geeignet sind z.B. PZ 35 F und HOZ 45 L.
- Zusammen mit Hochofenzement keinen hohen Anteil an Füller (Steinkohleflugasche) verwenden.
- Zuschlag Rundkorn oder Splitt, sandreichere Mischung als üblich.
- Bei Festlegung der Betonzusammensetzung zur Erzielung ausreichender Druckfestigkeit ein Vorhaltemaß von ca. 20 % gegenüber Soll-Druckfestigkeit berücksichtigen.
- Ausreichenden Wassergehalt der Betonmischung vorsehen, nicht durch Verflüssiger zu ersetzen.

10. Notwendigkeit weiterer Forschung

Die durchgeführten Versuche zeigten, daß die Größe der gemessenen Reibungskräfte zwischen Schalung und Beton sehr stark von - auf den ersten Blick geringfügigen - Änderungen in Betonzusammensetzung und Technologie beeinflusst werden kann. So erbrachte die Verwendung eines Betonzuschlags der Sieblinie C gegenüber Sieblinie A/B fast eine Halbierung der gemessenen Schalungsreibung; durch Hochziehen der Schalung in Zeitabständen von 15 Min. statt 1 Std. fiel die Schalungsreibung auf weniger als den halben Wert. Andererseits konnte bei Verwendung von PZ 45 F oder HOZ mit Füllerzusatz eine starke Zunahme der Reibkraft beobachtet werden. Um für die Anwendung in der Baupraxis Empfehlungen erarbeiten zu können, sollten die Einflüsse von Betonzusammensetzung und Technologie auf die zeitliche Entwicklung der Haft- und Gleitreibungsbeiwerte mit einer geeigneten Versuchseinrichtung systematisch untersucht werden. Wichtig erscheint dabei besonders, einerseits Betonzusammensetzungen zu vermitteln, die niedrige Schalungsreibungskräfte hervorrufen, wie auch andererseits festzustellen, nach welcher Zeit die Gleitschalung spätestens bewegt werden muß, wenn ein starker Anstieg der Haftreibungskräfte vermieden werden soll.

Im Hinblick auf die Anwendung im Gleitschalungsbau sind die Ergebnisse der bisher bekannten Versuche zum mechanischen Verhalten jungen Betons als unzureichend anzusehen. Es fehlen systematische Versuche an jungem Beton, in denen die Entwicklung der Druck- und Biegezugfestigkeit, des E-Moduls und der Bruchdehnung im Alter bis zu 12 Stunden untersucht wird. Die Er-

gebnisse derartiger Untersuchungen sind erforderlich, um mit ihrer Hilfe Stoffgesetze für das mechanische Verhalten jungen Betons zu formulieren und dann mit geeigneten Finite-Element-Programmen rechnerisch den Spannungs- und Verformungszustand einer in Gleitschalung erstellten Wand zu ermitteln, über den bisher nur Vermutungen möglich sind. Derartige rechnerische Untersuchungen in Form einer Parameterstudie könnten helfen, durch Optimierung von Betoneigenschaften und Gleitgeschwindigkeit die Technologie der Gleitschalungsbauweise entscheidend zu verbessern.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- | | |
|--|---|
| /1/ Böhm, F. | Das Arbeiten mit
Gleitschalungen.
Wilhelm Ernst & Sohn,
Berlin 1958 |
| /2/ Drechsel, W. | Die Gleitschalung.
Wilhelm Ernst & Sohn,
Berlin 1950 |
| /3/ Zaumseil, G. | Die Gleitbauweise.
VEB-Verlag für Bau-
wesen, Berlin 1968 |
| /4/ Braun, J.
Forner, G.
Röhling, S. | Rationelle Schal-
technik.
Band 2: Gleitschalun-
gen. VEB-Verlag für
Bauwesen, Berlin 1978 |
| /5/ Batterham, R.G. | Slipform Concrete.
Longmann Group Ltd,
London 1980 |
| /6/ Dinescu, T.
Sandru, A.
Rădulescu, C. | Les Coffrages
Glissants.
Editions Meridiene,
Bucarest, Editions
Eyrolles, Paris 1968 |
| /7/ Deutscher
Betonverein e.V. | Merkblatt für das Her-
stellen von Silos im
Gleitbauverfahren
(Fassung Mai 1977).
Beton- und Stahlbeton
8/1977, S. 208 |
| /8/ - | TGL 118 - 0358
Stahlbeton-Wandbau mit
Gleitschalung.
Ministerium für Bau-
wesen, Berlin (Ost) |
| /9/ ACI-Committee 313 | Recommended Practice
for Design and
Construction of
Concrete Bins, Silos,
and Bunkers for Storing
Granular Materials.
ACI-Journal October
1975, S. 529 - 534 |

- /10/ ACI-Committee 347 Recommended Practice
for Concrete Form-
work.
ACI-Journal Sept.
1977, S. 397 - 434
- /11/ Commission technique Coffrages glissants.
"Coffrages glissants" Annales de l'Institut
Technique du Batiment
et des Travaux
Publics No. 341,
Juli/Augst 1976,
S. 77 - 100
- /12/ Selfslagh, M.R.,
u. a. Les coffrages
glissants.
Centre Scientifique
et Technique de La
Construction. Note d'
Information Technique
123, Brüssel 1978
- /13/ Ahl & Co. GmbH Gleitbau - Merkblät-
ter 1 - 3, Köln
- /14/ Camellerie, J.F. Slip-form.
Details and techni-
ques, ACI-Journal
April 1959, S. 1131 -
1140, und ACI-Journal
August 1962, S. 1109
- /15/ Pieper, K. Gleitbau - Vorteile
und Gefahren.
Mitteilungen IfBt
6/1975, S. 165 - 166
- /16/ Hurd, M.K. Formwork for Concrete.
American Concrete
Institute, Detroit
1977
- /17/ Reimbert, M.
Reimbert, A. Silos.
Bauverlag GmbH, Wies-
baden, Berlin 1961
- /18/ Timm, G.
Windels, R. Silos.
Betonkalender 1977,
Bd. II, S. 559 - 618
- /19/ Solotnitzki, N.D. Technologie der Bau-
produktion.
VEB-Verlag Technik,
Berlin (Ost) 1958
- /20/ o. v. DYWIDAG-Berichte,
Heft 2:
Gleit- und Kletter-
bauweisen.
Dyckerhoff & Widmann
AG, München

- /21/ o. v. Hochtief-Nachrichten,
Mai 1974:
Gleitschalung.
Hochtief-AG Essen
- /22/ Barth, R.
 Guratzsch, A. Gleitbauweise bei
 Bunkerbauten in Groß-
 kraftwerken.
 Bauplanung - Bautech-
 nik 7/1973, S. 335 -
 341
- /23/ Bartke, R.
 Neumann, O.-M. Leichtbeton im Gleit-
 bau.
 Bauplanung - Bautech-
 nik 6/1974, S. 276 -
 278
- /24/ Bönninghausen, M. Zentralschornstein
 der Erdöl-Raffinerie
 Duisburg.
 Beton-Informationen
 4/82, S. 35 - 38
- /25/ Braun, J. Erkenntnisse des
 Gleitbaus bei Hoch-
 häusern in Leipzig
 und Jena.
 Bauplanung - Bautech-
 nik 1/1975, S. 6 - 9
- /26/ Dietrich, K. Dynamisch-kalkulato-
 rischer Verfahrens-
 vergleich zweier Ort-
 betonbauverfahren für
 Naturzugkühlerschalen.
 Dissertation TU Braun-
 schweig 1981
- /27/ Ellison, J.C. Slipform Construction
 of Concrete Nuclear
 Shield Walls.
 ACI-Journal März 1973,
 S. 178 - 181
- /28/ Fisher, G.H. Concrete Set Control
 for Vertical Slip-
 forming.
 ACI-Journal Sept.
 1972, S. 556 - 561,
 und ACI-Journal März
 1973, S. 245
- /29/ Forner, G. Hyperbolische Groß-
 kühltürme im Gleitbau.
 Bauplanung - Bautech-
 nik 8/1970, S. 389 -
 391

- /30/ Hilgard, G. Zement-Doppelrundsilo
im Zementwerk Schwel-
gern.
Beton-Informationen
3/82, S. 30 - 31
- /31/ Ingvarsson, H. Concrete strength of
a slipform concreted
structure.
RILEM-Quality control
of concrete structu-
res, Stockholm 1979,
S. 55 - 63
- /32/ Kern, E. Gleitschalungsarbei-
ten im Industrie- und
Bürohochhausbau.
Vorträge auf dem Be-
tontag 1975, S. 317 -
325
- /33/ Kohout, K.
Procházka, F. Analyse der bei der
Verwendung von Gleit-
schalung entstehenden
Fehler und deren Be-
seitigung (in tsche-
chisch).
Tagungsbericht
II. Symposium über
Gleitschalung, Prag
1966, S. 75 - 80
- /34/ Lauer, L.R.
Rigby, R.J. Concrete Proportio-
ning and Control for
the "Skylon".
ACI-Journal Sept.
1977, S. 897 - 909
- /35/ Lindner, H. Gleitschalung - Ent-
wicklung und derzei-
tige Möglichkeiten
ihrer Anwendung.
VDI-Berichte Nr. 128,
1968, S. 41 - 47
- /36/ Luchner, H. Anwendung der Gleit-
schalung beim Bau von
Getreidesilos in
Saudi-Arabien.
Vorträge auf dem Be-
tontag 1979,
S. 473 - 483

- /37/ Martens, P. Die Oberflächenbehandlung von Stahlbetonsilos.
Die Mühle und Mischfuttersortechnik,
Heft 15, April 1978,
S. 201 - 209
- /38/ Migliacci, A. Su alcuni problemi
Gerosa, G. relativi alle
strutture in c.a.
die alte ciminiera.
Costruzioni in cemento
armato, Bergamo 1971,
S. 187 - 225
- /39/ Nenning, E. Les coffrages
glissants mode de
construction rapide.
Annales de l'Institut
Technique du Batiment
et des Travaux
publics, März - April
1957, S. 331 - 375
- /40/ Niemeyer, W. Hochregallager im
Unverdorben, H. Gleitbauverfahren.
Beton- und Stahlbeton-
bau 6/1977, S. 137 -
142
- /41/ Pieper, K. Aktuelle Fragen des
Wenzel, F. Entwurfs, der Bela-
stung, der Berechnung
und der Bauausführung
von Silozellen.
Beton- und Stahlbeton-
bau 8/1978, S. 192 -
199
- /42/ Reichverger, Z. The relationship
between the various
parameters influen-
cing slip concreting
(in hebräisch).
Research Thesis
Haifa 1977
- /43/ Reichverger, Z. Interaction of casting
and mould surfaces in
slip-form technology.
Magazine of Concrete
Research, Sept 1979,
S. 171 - 176

- /44/ Reichverger, Z.
Jaegermann, C. Friction and pressure
of concrete in slip-
form concreting.
RILEM - International
conference on concrete
of early ages,
Paris 1982,
S. 247 - 253
- /45/ Rostásy, F.S.
Ranisch, E.H. Einfluß der Art,
Kornform und Korn-
zusammensetzung des
Mehlkorns auf die
Betoneigenschaften.
Forschungsbericht BMV
Nr. 8.055 R 78 B,
TU Braunschweig,
Institut für Bau-
stoffe, Massivbau und
Brandschutz, 1980
- /46/ Steinicke, M.
Prokopowicz, J.
Bach, W. Experimentelle Unter-
suchung des Scha-
lungsdrucks und der
Schalungsreibung bei
Gleitschalungen.
Bauplanung - Bautech-
nik
7/1964, S. 342 - 344
8/1964, S. 395 - 397
9/1964, S. 446 - 384
- /47/ Stoffregen, U.
Dorn, A. Konstruktion und Aus-
führung eines 275 m
hohen Industrie-
Schornsteins.
Beton- und Stahlbeton-
bau 7/1975,
S. 165 - 170
- /48/ Heilmann, G.
Hilsdorf, H.
Finsterwalder, K. Festigkeit und Verfor-
mung von Beton unter
Zugspannungen.
DAfStb, Heft 203, 1969
- /49/ Schießl, P. Zur Frage der zuläs-
sigen Rißbreite und
der erforderlichen
Betondeckung im
Stahlbetonbau unter
besonderer Berück-
sichtigung der Karbo-
natisierung des Be-
tons.
DAfStb, Heft 255, 1976

N o r m e n

- /50/ DIN 1045 Beton- und Stahlbeton;
Bemessung und Ausführung,
Ausgabe Dezember 1978
- /51/ DIN 1048, Teil 1 Prüfverfahren für Beton;
Frischbeton, Festbeton
gesondert hergestellter
Probekörper,
Ausgabe Dezember 1978
- /52/ DIN 1048, Teil 2 Prüfverfahren für Beton;
Bestimmung der Druckfe-
stigkeit von Festbeton
in Bauwerken und Bautei-
len, Allgemeines Verfah-
ren,
Ausgabe Februar 1976
- /53/ DIN 4760 Gestaltabweichungen;
Begriffe, Ordnungssystem,
Ausgabe Juni 1982
- /54/ DIN 4761 Oberflächencharakter;
Geometrische Oberflächen-
textur-Merkmale, Begriffe,
Kurzzeichen,
Ausgabe Dezember 1978
- /55/ DIN 4762 Oberflächenrauheit;
Begriffe,
Entwurf Mai 1978
- /56/ DIN 4774 Messung der Wellentiefe
mit elektrischen Tast-
schnittgeräten;
Ausgabe Juni 1981
- /57/ DIN 18 217 Betonflächen und
Schalungshaut;
Ausgabe Dezember 1981

Wand-Nr.	Temperatur gemessen am um	Frisch- beton- tempe- ratur	Luft- tempe- ratur	Wetter- bedin- gungen
1	17.3.81 3.10h	14°C	6°C	zeitweise leichter Niesel- regen
2				
3		13°C	7°C	
4				
5	24.3.81 2.15h	17°C	13°C	zeitweise leichter Niesel- regen
6				
7		17°C	13°C	
8				
9	31.3.81 3.00h	16°C	13°C	trocken
10				
11		16°C	13°C	
12				
13	6.4.81 10.20h	17°C	13°C	trocken
14	7.4.81 2.00h	17°C	5°C	

Tabelle 17 Witterungsverhältnisse und Frisch-
betontemperatur bei der Ausführung
der Versuchswände

Wand-Nr.	Baustoffe/m ³ Beton in kg			w/z	Zementgüte	Lieferwerk	Betonzusatz
	Zuschlag	Wasser	Zement				
1	1828	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	-
2	1628	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	200 kg EFA-Füller/m ³ Beton
3	1828	173	320	0,54	HOZ 45 L	Dyckerhoff	-
4	1828	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	-
5	1828	160	320	0,40	PZ 35 F	Teutonia	0,84 % (vom Zementgewicht) Betonverflüssiger (Woermann)
6	1828	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	0,54 % (vom Zementgewicht) Betonverflüssiger (Woermann)
7	1628	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	0,69 % (vom Zementgewicht) Betonverflüssiger (Woermann) 200 kg EFA-Füller/m ³ Beton
8	1828	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	-
9	1828	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	-
10	1628	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	200 kg EFA-Füller/m ³ Beton
11	1628	173	320	0,54	HOZ 45 L	Dyckerhoff	200 kg EFA-Füller/m ³ Beton
12	1828	173	320	0,54	PZ 45 F	Teutonia	-
13	1828	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	-
14	1828	173	320	0,54	PZ 35 F	Teutonia	0,40 % (vom Zementgewicht) Verzögerer Lentan 66 (Woermann)

Tabelle 18

Zusammensetzung des Betons der Versuchswände.

Wand-Nr.	Körnung	s	Art/Lieferwerk	Sieblinie	Mehlkorn [kg/m ³]			
					Zuschläge < 0,25 mm	Zement	Zusatz- stoff	Σ
1	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	Rundkorn/Abbesbüttel Rundkorn/Wipshausen Rundkorn/Wipshausen Rundkorn/Wipshausen Rundkorn/Sonnenberg	A/B (s. Bild 9)	82	320	-	402
2	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	10 15 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 9)	78	320	200	598
3	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 10)	82	320	-	402
4	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 10)	82	320	-	402
5	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 11)	82	320	-	402
6	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/22 mm	9 16 25 50	Rundkorn/Abbesbüttel Rundkorn/Wipshausen Rundkorn/Wipshausen Splitt/Isingerode	A/B (s. Bild 11)	80	320	-	400
7	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/22 mm	11 14 25 50	wie Wand 6	A/B (s. Bild 12)	82	320	200	602
8	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 12)	82	320	-	402
9	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	6 50 17 15 12	wie Wand 1	C (s. Bild 13)	82	320	-	402
10	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	7 49 17 15 12	wie Wand 1	C (s. Bild 13)	79	320	200	599
11	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	10 15 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 14)	78	320	200	598
12	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 14)	82	320	-	402
13	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 15)	82	320	-	402
14	0/ 1 mm 1/ 2 mm 2/ 8 mm 8/16 mm 16/32 mm	9 16 25 20 30	wie Wand 1	A/B (s. Bild 15)	82	320	-	402

Tabelle 19

Körnung, Lieferwerk, Sieblinie und Mehrkorngesamt der Zuschläge
des Betons der Versuchswände.

Wand Nr.	Ausbreitmaß [cm]	Frischbeton- rohddichte [kg/m ³] Einzelwerte	Mittel- wert
1	41,0 (3. Mischung) 37,0 (10. Mischung)	2,42 2,42 2,42	2,42
2	41,0 (3. Mischung) 37,0 (10. Mischung)	2,41 2,39 2,39	2,40
3	41,0 (3. Mischung) 37,0 (10. Mischung)	2,41 2,43 2,42	2,42
4	41,0 (3. Mischung) 37,0 (10. Mischung)	2,43 2,43 2,43	2,43
5	41,0 (4. Mischung) 39,0 (11. Mischung)	2,47 2,44 2,44	2,45
6	41,0 (4. Mischung) 39,5 (11. Mischung)	2,44 2,44 2,46	2,45
7	40,0 (4. Mischung) 38,5 (11. Mischung)	2,43 2,43 2,43	2,43
8	41,5 (4. Mischung) 38,5 (11. Mischung)	2,42 2,40 2,40	2,41
9	39,5 (5. Mischung)	2,38 2,38 2,39	2,38
10	45,0 (6. Mischung) 40,0 (7. Mischung)	2,36 2,37 2,37	2,37
11	39,5 (6. Mischung)	2,38 2,39 2,39	2,39
12	38,5 (3. Mischung)	2,44 2,44 2,44	2,44
13	34,5 (3. Mischung)	2,44 2,45 2,44	2,44
14	35,5 (3. Mischung)	2,45 2,44 2,45	2,45

Tabelle 20

Ausbreitmaße und Frischbetonrohddichten des
Betons der Versuchswände.

Zementgüte	Lieferwerk	für Wand-Nr.	Erstarrungsbeginn	Erstarrungsende
PZ 35 F	Teutonia	1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 13; 14	2h 30' - 2h 35'	3h 25' - 3h 45'
PZ 45 F	Teutonia	12	1h 50' - 2h 00'	2h 46' - 2h 52'
HOZ 45 L	Dyckerhoff	3; 11	2h 15' - 2h 42'	3h 10' - 3h 40'

Tabelle 21 Erstarrungsverhalten der Zemente
der Versuchswände

Wand Nr.	Rohdichte [kg/dm ³]	Bruchlast [kN]	β_W [N/mm ²]	Mittelwert β_W
1	2,42	1168	52	53
	2,42	1179	52	
	2,41	1265	56	
2	2,39	1089	48	49
	2,39	1108	49	
	2,39	1096	49	
3	2,41	998	44	45
	2,42	1010	45	
	2,41	1028	46	
4	2,43	1130	50	51
	2,43	1154	51	
	2,42	1154	51	
5	2,42	1151	51	48
	2,44	1040	46	
	2,43	1086	48	
6	2,43	1146	51	51
	2,44	1175	52	
	2,44	1110	49	
7	2,43	1175	52	53
	2,42	1209	54	
	2,42	1193	53	
8	2,41	1059	47	47
	2,39	1041	46	
	2,39	1053	47	
9	2,40	916	41	42
	2,40	944	42	
	2,38	943	42	
10	2,37	1061	47	46
	2,38	1016	45	
	2,37	1031	46	
11	2,39	871	39	39
	2,38	848	38	
	2,39	895	40	
12	2,43	1061	47	48
	2,43	1080	48	
	2,42	1078	48	
13	2,44	969	43	44
	2,45	1023	45	
	2,45	1015	45	
14	2,45	1125	50	49
	2,45	1108	49	
	2,45	1090	48	

Tabelle 22

Würfeldruckfestigkeiten des Betons der Versuchswände. Würfel 15/15 cm, Alter 7 Tage, Lagerung bis zur Prüfung in feuchten Tüchern.

Wand Nr.	Rohdichte [kg/dm ³]	Bruchlast [kN]	R_{BZ} [N/mm ²]	Mittelwert R_{BZ}
1	2,39 2,38	27,20 25,80	4,80 4,56	4,68
2	2,37 2,37	25,70 24,00	4,57 4,32	4,45
3	2,41 2,39	25,80 26,90	4,59 4,75	4,67
4	2,42 2,40	30,80 33,15	5,48 5,89	5,69
5	2,43 2,42	25,90 26,10	4,57 4,58	4,58
6	2,45 2,44	28,00 25,50	4,91 4,44	4,68
7	2,41 2,42	27,80 27,60	4,88 4,78	4,83
8	2,42 2,43	26,70 29,30	4,75 5,24	5,00
9	2,35 2,35	25,50 24,30	4,39 4,26	4,33
10	2,34 2,33	27,20 28,30	4,77 4,93	4,85
11	2,37 2,33	21,50 20,90	3,75 3,60	3,68
12	2,38 2,38	25,50 25,90	4,44 4,48	4,46
13	2,44 2,44	19,20 20,10	3,44 3,57	3,51
14	2,41 2,41	24,20 25,70	4,25 4,51	4,38

Tabelle 23

Biegezugfestigkeiten des Betons der Versuchswände. Biegebalken 15/15/70 cm, Alter 7 Tage, Lagerung bis zur Prüfung in feuchten Tüchern.

Wand-Nr.	gemessener Höchstwert	Mittel aus den		
		3	5	10
		größten gemessenen Werten		
1	7,76	4,89 (10,12)	3,99 (8,69)	3,05 (7,04)
2	5,09	4,94 (0,55)	4,62 (1,82)	4,04 (2,81)
3	6,24	5,03 (4,24)	4,74 (3,39)	4,21 (3,36)
4	4,44	3,99 (4,25)	3,79 (4,13)	3,49 (4,35)
5	6,73	5,75 (5,12)	4,99 (5,48)	4,18 (5,07)
6	5,47	5,18 (1,05)	4,82 (2,14)	4,35 (2,53)
7	5,25	5,10 (0,56)	5,00 (0,71)	4,67 (1,78)
8	4,83	4,52 (3,52)	4,16 (5,69)	3,78 (5,66)
9	2,44	2,31 (0,92)	2,12 (1,49)	1,80 (1,95)
10	5,82	4,40 (5,19)	3,82 (4,85)	3,19 (4,24)
11	6,76	5,78 (3,50)	5,46 (3,06)	4,84 (3,40)
12	7,94	6,91 (9,13)	6,25 (11,20)	5,53 (10,86)
13	2,55	2,29 (1,76)	1,96 (2,21)	1,54 (2,34)
14	4,42	4,16 (3,32)	3,83 (5,22)	3,41 (5,74)

Tabelle 24 Meßwerte der Schalungsreibung in kN/m. Die Werte in Klammern geben die Standardabweichung der Meßwerte an.

Wand Nr.	Bohr- kern Nr.	Raum- gewicht R kg/m ³	Zylinder-Druck- festigkeit β_{c100} N/mm ²
1	1	2385	64,8
	2	2400	55,3
	3	2405	51,6
	4	2395	56,6
	5	2405	51,1
	6	2405	50,7
	7	2415	71,0
	8	2420	60,8
	9	2395	51,4
	10	2400	66,7
	11	2390	72,4
	12	2415	81,1
2	1	2405	65,7
	2	2375	68,2
	3	2375	72,8
	4	2410	79,9
	5	2360	75,7
	6	2375	68,0
3	1	2395	57,0
	2	2385	63,0
	3	2415	62,5
	4	2400	48,6
	5	2420	53,2
	6	2435	57,7
4	1	2400	64,6
	2	2410	69,2
	3	2420	57,5
	4	2375	61,7
	5	2410	66,7
	6	2405	65,3
	7	2395	69,1
	8	2390	54,3
	9	2405	53,0
	10	2410	59,5
	11	2405	69,6
	12	2420	91,0
	13	2405	56,8
	14	2390	58,3
	15	2405	60,6
	16	2420	61,3
	17	2435	70,5
	18	2400	68,5

Wand Nr.	Bohr- kern Nr.	Raum- gewicht R kg/m ³	Zylinder-Druck- festigkeit β_{c100} N/mm ²
5	1	2400	60,8
	2	2390	56,9
	3	2420	75,3
	4	2405	70,0
	5	2405	64,6
	6	2430	59,1
6	1	2455	49,1
	2	2440	61,2
	3	2450	70,5
	4	2450	65,1
	5	2420	63,9
	6	2440	71,2
	7	2450	66,9
	8	2430	67,1
	9	2465	67,7
	10	2460	54,6
7	1	2450	88,5
	2	2450	84,6
	3	2465	79,4
	4	2410	83,5
	5	2515	84,2
	6	2475	86,1
	7	2510	88,1
	8	2430	93,1
8	1	2400	55,6
	2	2425	54,8
	3	2415	53,8
	4	2465	58,0
	5	2385	50,4
	6	2420	55,2
	7	2430	55,4
	8	2400	52,8
	9	2375	60,0
	10	2415	47,2
	11	2420	58,6
	12	2375	46,9
	13	2365	55,6
	14	2370	44,0
	15	2385	41,3
	16	2375	59,3
	17	2395	52,6
	18	2410	65,0
	19	2385	64,4
	20	2375	60,5

Tabelle 25

Gemessene Raumgewichte und Zylinderdruckfestigkeiten
des Betons der Versuchswände.

Wand Nr.	Bohr- kern Nr.	Raum- gewicht R kg/m ³	Zylinder-Druck- festigkeit β_{c100} N/mm ²	Wand Nr.	Bohr- kern Nr.	Raum- gewicht R kg/m ³	Zylinder-Druck- festigkeit β_{c100} N/mm ²
9	1	2330	42,7	13	1	2375	53,0
	2	2330	51,1		2	2370	45,8
	3	2325	48,7		3	2380	55,7
	4	2370	48,2		4	2360	46,6
	5	2360	51,6		5	2420	43,0
	6	2335	45,9		6	2385	45,9
10	1	2350	61,8		7	2390	51,8
	2	2310	63,5		8	2375	50,8
	3	2365	66,0		9	2385	47,2
	4	2350	60,9		10	2400	54,9
	5	2350	60,0		11	2430	59,4
	6	2345	62,9		12	2390	49,1
11	1	2380	54,2	14	1	2515	64,6
	2	2365	50,5		2	2465	66,4
	3	2395	76,0		3	2510	63,8
	4	2375	61,3		4	2475	66,2
	5	2400	69,6		5	2470	63,5
	6	2365	52,7		6	2455	52,6
12	1	2375	52,5		7	2395	60,1
	2	2400	47,8		8	2440	60,6
	3	2410	61,6	Ortbeton	O/ 1(2)	2315	42,4
	4	2410	61,3		O/ 3(4)	2305	43,0
	5	2420	59,4		O/ 5(6)	2315	44,6
	6	2435	53,8		O/ 7	2310	55,7
	7	2410	49,3		O/ 8	2285	57,3
	8	2380	50,0		O/ 9	2275	49,7
	9	2410	58,8		O/10	2280	42,2
	10	2395	53,8		O/11	2285	53,3
	11	2445	57,5		O/12	2535	63,8
	12	2420	65,2		O/13	2540	67,9
	13	2420	54,9		O/14(15)	2500	61,9
	14	2480	62,5		O/16(17)	2480	61,4
	15	2400	59,5		O/18(19)	2495	60,7
	16	2415	54,1				
	17	2430	52,1				
	18	2415	70,0				

Tabelle 26 (Fortsetzung zu Tabelle 25)

Gemessene Raumgewichte und Zylinderdruckfestigkeiten
des Betons der Versuchswände.

Wand Nr.	Mittelwerte	
	des Raumgewichts [kg/m ³]	der Zylinder-Druck- festigkeit β_{c100} [N/mm ²]
1	2403	61,1
2	2383	71,7
3	2408	57,0
4	2406	64,3
5	2408	64,4
6	2446	63,7
7	2463	85,9
8	2399	54,6
9	2342	48,0
10	2345	62,5
11	2380	60,7
12	2415	56,9
13	2388	50,3
14	2466	62,2
0 (Ort- beton)	2312	43,3

Tabelle 27

Mittelwerte der gemessenen Raumgewichte und Zylinderdruckfestigkeiten des Betons der Versuchswände.

Wand Nr.	Mittelwerte N/mm^2 der					$\frac{\beta_C}{\min \beta_{W200}}$
	gemessenen Würfel- druckfestigkeit nach 7 Tagen β_{W150}	$\beta_{W200} = 0,95 \beta_{W150}$ 1)	Erwartungswerte der Würfeldruckfestigk. nach 28 Tagen β_{W200} 2)	Erwartungswerte der Würfeldruckfestigk. nach 360 Tagen β_{W200} 2)	gemessenen Zylinderdruck- festigkeit nach 27 Monaten β_{C100}	
1	53	50	63 ... 77	69 ... 92	61,1	0,89
2	49	47	59 ... 72	65 ... 87	71,7	1,10
3	45	43	54 ... 66	59 ... 79	57,0	0,97
4	51	48	60 ... 74	66 ... 89	64,3	0,97
5	48	46	58 ... 71	63 ... 85	64,4	1,02
6	51	48	60 ... 74	66 ... 89	63,7	0,97
7	53	50	63 ... 77	69 ... 92	85,9	1,24
8	47	45	56 ... 69	62 ... 83	54,6	0,88
9	42	40	50 ... 62	55 ... 74	48,0	0,87
10	46	44	55 ... 68	61 ... 81	62,5	1,02
11	39	37	46 ... 57	51 ... 68	60,7	1,19
12	48	46	51 ... 58	54 ... 64	56,9	1,05
13	44	42	53 ... 65	58 ... 78	50,3	0,87
14	49	47	59 ... 72	65 ... 87	62,2	0,96
0 (Ort- beton)		nicht bekannt, gefordert war B 25			43,3	

1) umgerechnet nach DIN 1045, 7.4.3.5.3

2) errechnet nach den Angaben in /48/, siehe Tabelle 29

Tabelle 28

Gemessene Druckfestigkeiten der Probewürfel nach 7 Tagen, errechnete Erwartungswerte der Würfeldruckfestigkeiten nach 28 und 300 Tagen, gemessene Zylinderdruckfestigkeiten des Bauwerkbetons.

Beton aus Zement der Festigkeits- klasse	Druckfestigkeit in % der 28-Tage-Druckfestigkeit nach		
	7 Tagen	28 Tagen	360 Tagen
PZ 35 F HOZ 45 L	65 ... 80	100	110 ... 120
PZ 45 F	80 ... 90	100	105 ... 110

Tabelle 29

Angesetzte Werte für die Berechnung des Einflusses des Alters auf die Betondruckfestigkeit.

Beton <u>ohne</u> Zugabe von EFA-Füller			Beton <u>mit</u> Zugabe von EFA-Füller		
Wand Nr.	Mittelwerte		Wand Nr.	Mittelwerte	
	der gemessenen Zylinderdruck- festigkeit β_{c100} [N/mm ²]	des gemessenen Raumgewichts [kg/m ³]		der gemessenen Zylinderdruck- festigkeit β_{c100} [N/mm ²]	des gemessenen Raumgewichts [kg/m ³]
1	61,6	2403	2	71,7	2383
4	64,3	2406			
13	50,3	2388			
6	63,7	2446	7	85,9	2463
3	57,0	2408	11	60,7	2380
9	48,0	2342	10	62,5	2345

Tabelle 30

Gemessene Zylinderdruckfestigkeiten und Raumgewichte des Betons der Versuchswände. Vergleich der Betonmischungen mit und ohne Zusatz von EFA-Füller.

Wand	Schalung	Biegezug- festigkeit σ_{BZ} [N/mm ²]	Druck- festigkeit σ_D [N/mm ²]	$k = \frac{\sigma_{BZ}}{\sigma_D^{2/3}}$	Mittelwert k
1	H	8,11	71,0	0,473	0,492
		8,10	60,8	0,524	
		6,62	51,4	0,479	
	H (A)	6,17	66,7	0,375	0,417
		7,75	72,4	0,446	
		8,04	81,1	0,429	
	M	9,14	64,8	0,566	0,579
		8,79	55,3	0,606	
		7,83	51,6	0,565	
	M (A)	8,34	56,6	0,565	0,630
		8,73	51,1	0,633	
		9,48	50,7	0,692	
2	H	8,14	65,7	0,500	0,477
		6,98	68,2	0,418	
		8,93	72,8	0,512	
	H (A)	7,45	79,9	0,402	0,507
		9,14	75,7	0,511	
		10,13	68,0	0,608	
	M	5,39	65,7	0,331	0,457
		8,53	68,2	0,511	
		9,23	72,8	0,530	
	M (A)	7,17	79,9	0,387	0,413
		8,92	75,7	0,499	
		5,86	68,0	0,352	
3	H	4,46	57,0	0,301	0,301
		5,48	63,0	0,346	
		4,01	62,5	0,255	
	H (A)	5,89	48,6	0,442	0,423
		6,79	53,2	0,480	
		5,18	57,7	0,347	
	M	8,27	57,0	0,558	0,486
		6,99	63,0	0,442	
		7,20	62,5	0,457	
	M (A)	8,53	48,6	0,640	0,496
		6,56	53,2	0,464	
		5,75	57,7	0,385	

Tabelle: 31

Zusammenstellung aller an Bohrkernen aus den Versuchswänden ermittelten Meßwerte der Druck- und Biegezugfestigkeiten.

Schalungsarten: H Holzschalung
M Mehrschichtenplatte
B Stahlblech
(A) Betonoberfläche abgerieben

* $c_1 = 2 \text{ cm}$

** $c_1 = 3 \text{ cm}$

Wand	Schalung	Biegezug- festigkeit σ_{BZ} [N/mm ²]	Druck- festigkeit σ_D [N/mm ²]	$k = \frac{\sigma_{BZ}}{\sigma_D^{2/3}}$	Mittelwert k
4	H	6,58*	69,1	0,391	0,435
		5,63*	54,3	0,393	
		7,37*	53,0	0,522	
		6,99**	56,8	0,473	0,507
		8,89**	58,3	0,591	
		10,36**	60,6	0,671	
	H (A)	9,31*	59,5	0,611	0,453
		8,09*	69,6	0,428	
		5,46*	91,0	0,270	
		7,17**	61,3	0,461	0,461
		7,43**	70,5	0,435	
		8,13**	68,5	0,486	
	M	8,49*	56,8	0,574	0,507
		6,16*	58,3	0,410	
		8,29*	60,6	0,537	
		8,09**	64,6	0,503	0,521
		9,80**	69,2	0,581	
		7,14**	57,5	0,479	
	M (A)	10,06*	61,3	0,647	0,550
		9,20*	70,5	0,539	
		7,77*	68,5	0,464	
		8,29**	61,7	0,531	0,494
		8,03**	66,7	0,488	
		7,52**	65,3	0,464	
	B	9,54*	69,1	0,567	0,568
		9,92*	54,3	0,692	
		6,28*	53,0	0,445	
		7,12**	64,6	0,442	0,456
		8,04**	69,2	0,477	
		6,71**	57,5	0,450	
	B (A)	6,81*	59,5	0,447	0,364
		6,44*	69,6	0,381	
		5,37*	91,0	0,265	
		7,78**	61,7	0,498	0,408
		5,56**	66,7	0,338	
		6,27**	65,3	0,387	
5	H	7,93	60,8	0,513	0,448
		6,00	56,9	0,406	
		7,56	75,3	0,424	
	H (A)	10,55	70,0	0,621	0,586
		7,93	64,6	0,493	
		9,76	59,1	0,643	
	M	5,83	60,8	0,377	0,492
		9,65	56,9	0,653	
		7,95	75,3	0,446	
	M (A)	10,42	70,0	0,614	0,588
		8,95	64,6	0,556	
		9,01	59,1	0,594	

Wand	Schalung	Biegezug- festigkeit σ_{BZ} [N/mm ²]	Druck- festigkeit σ_D [N/mm ²]	$k = \frac{\sigma_{BZ}}{\sigma_D^{2/3}}$	Mittelwert k
6	H	9,86 10,04	49,1 61,2	0,735 0,646	0,691
	H (A)	8,33 9,16	70,5 65,1	0,488 0,566	0,527
	M	8,63 10,35 9,69 6,62 7,88	49,1 61,2 63,9 71,2 66,9	0,644 0,666 0,606 0,385 0,478	0,556
	M (A)	8,05 9,62 8,62 9,31 8,34	70,5 65,1 67,1 67,7 54,6	0,472 0,595 0,522 0,561 0,580	0,546
	H	8,36 9,77	88,5 84,6	0,421 0,503	0,462
	H (A)	10,89 9,24	79,4 83,5	0,590 0,484	0,537
	M	10,50 10,78	84,2 86,1	0,546 0,553	0,550
	M (A)	10,68 10,50	88,1 93,1	0,539 0,511	0,525
	H	8,31* 7,36*	55,6 54,8	0,570 0,510	0,540
	H (A)	9,79** 8,16**	50,4 55,2	0,718 0,563	0,641
7	H	9,27* 8,35*	53,8 58,0	0,651 0,557	0,604
	M	9,23** 4,75**	55,4 52,8	0,635 0,338	0,487
	M (A)	10,05* 9,28*	55,6 54,8	0,690 0,643	0,667
	B	7,10* 6,11*	53,8 58,0	0,498 0,408	0,453
	H	7,95* 8,30* 8,75* 6,67* 9,51*	50,4 55,2 41,3 59,3 52,6	0,583 0,572 0,732 0,439 0,677	0,582
	M	8,42** 8,19** 7,25**	60,0 47,2 58,6	0,549 0,627 0,480	
	M (A)				

Wand	Schalung	Biegezug- festigkeit σ_{BZ} [N/mm ²]	Druck- festigkeit σ_D [N/mm ²]	$k = \frac{\sigma_{BZ}}{\sigma_D^{2/3}}$	Mittelwert k
8	B (A)	5,21* 5,61* 7,29* 8,78* 9,69*	55,4 52,8 65,0 64,4 60,5	0,359 0,399 0,451 0,546 0,629	0,535
	H	9,54** 10,23** 5,73**	46,9 55,6 44,0	0,733 0,702 0,460	
	H (A)	6,56 7,54 8,43	42,7 51,1 48,7	0,537 0,548 0,632	0,572
	M	8,09 8,04 7,13	48,2 51,6 45,9	0,611 0,580 0,556	0,582
	M (A)	9,24 5,13 8,34	42,7 51,1 48,7	0,756 0,373 0,625	0,585
		8,95 8,63 7,94	48,2 51,6 45,9	0,676 0,623 0,619	0,639
	H	8,41 8,90 10,11	61,8 63,5 66,0	0,538 0,559 0,618	0,572
	H (A)	10,08 8,56 10,13	60,9 60,0 62,9	0,651 0,558 0,640	0,616
	M	9,00 9,24 10,28	61,8 63,5 66,0	0,576 0,580 0,630	0,595
	M (A)	9,50 8,84 10,85	60,9 60,0 62,9	0,614 0,577 0,686	0,626
9	H	4,95 5,82 5,08	54,2 50,5 76,0	0,346 0,426 0,283	0,352
	H (A)	8,12 8,51 6,89	61,3 69,6 52,7	0,522 0,503 0,490	0,505
	M	9,33 9,48 7,48	54,2 50,5 76,0	0,652 0,694 0,417	0,588
	M (A)	7,45 6,53 8,86	61,3 69,6 52,7	0,479 0,386 0,630	0,498

Wand	Schalung	Biegezug- festigkeit β_{BZ} [N/mm ²]	Druck- festigkeit β_D [N/mm ²]	$k = \frac{\beta_{BZ}}{\beta_D}$ $\frac{2/73}{\beta_D}$	Mittelwert k
12	H	6,26*	52,5	0,447	0,520
		8,27*	47,8	0,628	
		7,55*	61,6	0,484	
	H (A)	5,22**	49,3	0,388	0,420
		5,74**	50,0	0,423	
		6,77**	58,8	0,448	
	H (A)	7,95*	61,3	0,511	0,484
		7,54*	59,4	0,495	
		6,73*	58,3	0,447	
	M	4,90**	53,8	0,344	0,431
		8,05**	57,5	0,540	
		6,61**	65,2	0,408	
	M	7,64*	49,3	0,568	0,588
		9,63*	50,0	0,710	
		7,34*	58,8	0,485	
	M (A)	8,83**	54,9	0,611	0,522
		8,45**	62,5	0,537	
		6,35**	59,5	0,417	
	M (A)	9,67*	53,8	0,679	0,567
		8,24*	57,5	0,553	
		7,58*	65,2	0,468	
	B	6,52**	54,1	0,456	0,455
		6,69**	52,1	0,480	
		7,27**	70,0	0,428	
	B	7,68*	52,5	0,548	0,587
		7,96*	47,8	0,604	
		9,51*	61,6	0,610	
	B (A)	7,22**	54,9	0,500	0,497
		6,56**	62,5	0,417	
		8,73**	59,5	0,573	
	B (A)	7,07*	61,3	0,455	0,452
		6,76*	59,4	0,444	
		6,53*	53,8	0,458	
	B (A)	6,28**	54,1	0,439	0,498
		8,73**	52,1	0,626	
		7,30**	70,0	0,430	

Wand	Schalung	Biegezug- festigkeit β_{BZ} [N/mm ²]	Druck- festigkeit β_D [N/mm ²]	$k = \frac{\beta_{BZ}}{\beta_D}$ $\frac{2/73}{\beta_D}$	Mittelwert k	
13	H	9,12	51,8	0,656	0,589	
		8,42	50,8	0,614		
		6,50	47,2	0,498		
	H (A)	7,46	54,9	0,517	0,506	
		7,60	59,4	0,499		
		6,73	49,1	0,502		
	M	7,38	53,0	0,523	0,445	
		5,80	45,8	0,453		
		5,22	55,7	0,358		
	M (A)	6,92	46,6	0,534	0,470	
		6,27	43,0	0,511		
		4,69	45,9	0,366		
14	H	4,48*	63,5	0,281	0,329	0,372
		5,28*	52,6	0,376		
		7,65**	64,6	0,475		
	H (A)	5,81**	66,4	0,354	0,415	0,479
		5,76*	60,1	0,375		
		8,69*	60,6	0,563		
	M	6,58**	63,8	0,412	0,489	0,479
		9,24**	66,2	0,565		
		keine Werte gemessen				
	B	7,41*	63,5	0,465	0,539	
		8,59*	52,6	0,612		
	B (A)	7,75*	60,1	0,505	0,554	
		9,31*	60,6	0,603		

	Mittelwerte der		
Wand Nr.	Druckfestigkeit β_D (20 cm Würfel) [N/mm ²]	Biegezugfestigkeit β_{BZ} (Biegebalken) [N/mm ²]	$k = \frac{\beta_{BZ}}{\beta_D^{2/3}}$
1	50,6	4,68	0,342
2	46,3	4,45	0,345
3	42,8	4,67	0,382
4	48,2	5,69	0,430
5	45,9	4,58	0,357
6	48,2	4,68	0,353
7	50,4	4,83	0,354
8	44,4	5,00	0,399
9	39,6	4,33	0,373
10	43,7	4,85	0,391
11	37,1	3,68	0,331
12	45,3	4,46	0,351
13	42,1	3,51	0,290
14	46,6	4,38	0,338

Tabelle 32

Aus Würfel- und Biegebalkenprüfungen
ermittelte k-Werte des Betons der
Versuchswände.

Wand Nr.	Schalung	an Bohrkernen ermittelt k	Probewürfel und -balken $k = \frac{B_{BZ}}{B_D^{2/3}}$	$\frac{k_{Bohrkern}}{k_{Biegebalken}}$
1	H	0,492	0,342	1,44
	H (A)	0,417		1,22
	M	0,579		1,69
	M (A)	0,630		1,84
2	H	0,477	0,345	1,38
	H (A)	0,507		1,47
	M	0,457		1,32
	M (A)	0,413		1,20
3	H	0,301	0,382	0,79
	H (A)	0,423		1,11
	M	0,486		1,27
	M (A)	0,496		1,30
4	H	0,507	0,430	1,18
	H (A)	0,457		1,06
	M	0,514		1,20
	M (A)	0,522		1,21
	B	0,512		1,19
	B (A)	0,386		0,90
5	H	0,448	0,357	1,25
	H (A)	0,586		1,64
	M	0,492		1,38
	M (H)	0,588		1,65
6	H	0,691	0,353	1,96
	H (A)	0,527		1,49
	M	0,556		1,58
	M (A)	0,546		1,55
7	H	0,462	0,354	1,31
	H (A)	0,537		1,52
	M	0,550		1,55
	M (A)	0,525		1,48
8	H	0,590	0,399	1,48
	H (A)	0,545		1,37
	M	0,667		1,67
	M (A)	0,453		1,14
	B	0,582		1,46
	B (A)	0,535		1,34
9	H	0,572	0,373	1,53
	H (A)	0,582		1,56
	M	0,585		1,57
	M (A)	0,639		1,71
10	H	0,572	0,391	1,46
	H (A)	0,616		1,58
	M	0,595		1,52
	M (A)	0,626		1,60
11	H	0,352	0,331	1,06
	H (A)	0,505		1,53
	M	0,588		1,78
	M (A)	0,498		1,50
12	H	0,470	0,351	1,34
	H (A)	0,458		1,30
	M	0,555		1,58
	M (A)	0,511		1,46
	B	0,542		1,54
	B (A)	0,475		1,35
13	H	0,589	0,290	2,03
	H (A)	0,506		1,74
	M	0,445		1,53
	M (A)	0,470		1,62
14	H	0,372	0,338	1,10
	H (A)	0,479		1,42
	M	-		} keine Werte gemessen
	M (A)	-		
	B	0,539		
	B (A)	0,554		

Tabelle 33

Gegenüberstellung der an den Balken ermittelten k-Werte mit den Werten der Bohrkern aus den Versuchswänden.

Schalungsarten: H Holzschalung
M Mehrschichtenplatte
B Stahlblech
(A) Betonoberfläche abgerieben

Schalung	Einzelwerte	Mittelwert
H	1,44	1,38
	1,38	
	0,79	
	1,18	
	1,25	
	1,96	
	1,31	
	1,48	
	1,53	
	1,46	
	1,06	
	1,34	
	2,03	
	1,10	
Betonoberfläche abgerieben H (A)	1,22	1,43
	1,47	
	1,11	
	1,06	
	1,64	
	1,49	
	1,52	
	1,37	
	1,56	
	1,58	
	1,53	
	1,30	
	1,74	
	1,42	
M	1,69	1,51
	1,32	
	1,27	
	1,20	
	1,38	
	1,58	
	1,55	
	1,67	
	1,57	
	1,52	
	1,78	
	1,58	
	1,53	
M (A)	1,84	1,48
	1,20	
	1,30	
	1,21	
	1,65	
	1,55	
	1,48	
	1,14	
	1,71	
	1,60	
	1,50	
	1,46	
	1,62	
B	1,19	1,45
	1,46	
	1,54	
	1,59	
B (A)	0,90	1,31
	1,34	
	1,35	
	1,64	

Schalungsarten: H Holzschalung
M Mehrschichtenplatte
B Stahlblech
(A) Betonoberfläche abgerieben

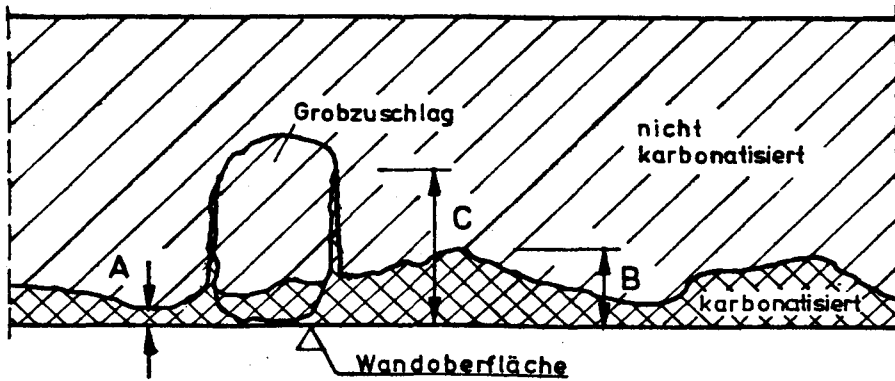
Tabelle 34

Zunahme der k-Werte der Bohrkerne (Einzel- und Mittelwerte) gegenüber den Werten der Biegebalken. Nach Schalungsarten geordnet.

Prüfkörper Nr.	Biegezugfestigkeit β_{BZ} [N/mm ²]	Druckfestigkeit β_D [N/mm ²]	$k = \frac{\beta_{BZ}}{\beta_D^{2/3}}$	Mittelwert k
O/1 O/2 O/3 O/4 O/5 O/6	8,40 6,96 7,09 8,72 7,34 7,69	42,4 42,4 43,0 43,0 44,6 44,6	0,69 0,57 0,58 0,71 0,58 0,52	0,61
O/7 O/8 O/9 O/10 O/11	6,32 5,60 8,63 6,22 5,59	55,7 57,3 49,7 42,2 53,3	0,43 0,38 0,64 0,51 0,39	0,47
O/12 O/13 O/14 O/15 O/16 O/17 O/18 O/19	9,08 9,19 9,89 5,81 9,16 7,09 8,43 8,17	63,8 67,9 61,9 61,9 61,4 61,4 60,7 60,7	0,57 0,55 0,63 0,37 0,59 0,46 0,55 0,53	0,53
Gesamtmittel				0,54

Tabelle 35

Vergleichswerte der Druck- und Biegezugfestigkeiten,
ermittelt an Bohrkernen aus Ortbetonwänden.



- A: min. Karbonatisierungstiefe
 B: max. Karbonatisierungstiefe
 C: (max. Karbonatisierungstiefe) im Bereich von
 Grobzuschlägen

Bild 38

Prinzip der Ermittlung der Werte der
 Karbonatisierungstiefe.

Größte Karbonatisierungstiefen [mm]		Mittelwerte der Meßwerte der Karbonatisierungstiefen [mm]	
d*	K**	d*	K**
3	7 (10)	1,7	5,3 (7,7)

* durchkarbonatisiert

** Karbonatisierungsspitzen

Tabelle 36

Meßwerte der Karbonatisierungstiefen des Betons
 der zusammen mit den Versuchswänden mit CO₂
 bewitterten Ortbetonwand.

Wand Nr.	Gemessene größte Karbonatisierungstiefe in mm bei Schalungsoberfläche aus																							
	Holz				Holz Betonoberfl. abger.				Mehrschichtenplatte				Mehrschichtenplatte Betonoberfl. abger.				Stahlblech				Stahlblech Betonoberfl. abger.			
	$c_1 = 2 \text{ cm}$		$c_1 = 3 \text{ cm}$		$c_1 = 2 \text{ cm}$		$c_1 = 3 \text{ cm}$		$c_1 = 2 \text{ cm}$		$c_1 = 3 \text{ cm}$		$c_1 = 2 \text{ cm}$		$c_1 = 3 \text{ cm}$		$c_1 = 2 \text{ cm}$		$c_1 = 3 \text{ cm}$		$c_1 = 2 \text{ cm}$		$c_1 = 3 \text{ cm}$	
	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**
	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**
1	2	7(17)	-	-	2	7(12)	-	-	1	4(8)	-	-	1	3(10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	7(13)	-	-	1	11(12)	-	-	3	10(13)	-	-	2	8(17)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5	17(25)	-	-	5	10(18)	-	-	1	6(14)	-	-	2	10(13)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	4	7(18)	2	6(8)	3	10(15)	3	6(15)	2	5(20)	2	6(9)	2	5(8)	2	8(12)	1	6(6)	1	7(20)	3	10(18)	2	7(20)
5	3	9(20)	-	-	1	5(10)	-	-	1	4(18)	-	-	1	6(12)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	3	7(15)	-	-	1	3(12)	-	-	3	9(12)	-	-	2	5(11)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1	4(13)	-	-	0	4(8)	-	-	1	7(10)	-	-	0	6(6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2	8(12)	3	10(10)	2	11(11)	2	6(6)	2	8(8)	-	-	1	6(10)	-	-	2	7(8)	2	8(10)	2	10(16)	2	5(10)
9	5	10(12)	-	-	4	12(12)	-	-	4	10(10)	-	-	3	7(10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	4	8(22)	-	-	2	9(12)	-	-	2	6(10)	-	-	2	7(10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	6	17(20)	-	-	7	13(20)	-	-	4	8(16)	-	-	3	8(23)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	4	8(14)	3	7(13)	3	6(12)	3	6(24)	2	5(5)	2	6(23)	2	6(14)	2	7(13)	2	4(8)	3	6(16)	1	4(10)	2	6(15)
13	3	7(16)	-	-	1	6(18)	-	-	1	6(14)	-	-	4	8(13)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	4	10(15)	3	7(24)	2	7(9)	3	7(12)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5(10)	-	-	2	8(18)	-	-

* durchkarbonatisiert
 ** Karbonatisierungsspitzen

Tabelle 37

Meßwerte der Karbonatisierungstiefe der Versuchswände.
 Gemessene größte Karbonatisierungstiefen.

Wand Nr.	Mittelwerte der gemessenen Karbonatisierungstiefe in mm bei Schalungsoberfläche aus																			
	Holz				Holz				Mehrschichtenplatte				Mehrschichtenplatte				Stahlblech			
	c _l = 2 cm		c _l = 3 cm		c _l = 2 cm		c _l = 3 cm		c _l = 2 cm		c _l = 3 cm		c _l = 2 cm		c _l = 3 cm		c _l = 2 cm		c _l = 3 cm	
	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**	d*	K**
1	1,3	4,7(14,0)	-	-	1,7	5,3(10,0)	-	-	0,3	3,0(6,0)	-	-	0,3	2,7(8,0)	-	-	-	-	-	-
2	1,0	6,3(11,3)	-	-	1,0	6,7(11,0)	-	-	2,0	6,7(10,0)	-	-	1,7	6,0(13,3)	-	-	-	-	-	-
3	4,7	13,7(18,7)	-	-	4,0	9,0(15,7)	-	-	1,0	5,0(12,7)	-	-	1,7	7,0(11,7)	-	-	-	-	-	-
4	2,7	6,3(16,0)	0,7	3,7(8,0)	2,7	8,7(13,0)	2,0	4,7(11,7)	1,3	4,3(10,7)	1,3	5,3(7,0)	1,3	4,3(5,7)	1,7	7,3(9,3)	1,0	5,0(6,0)	1,0	5,3(16,0)
5	2,0	7,7(15,0)	-	-	1,0	4,0(8,3)	-	-	0,7	3,3(9,0)	-	-	0,3	3,7(8,7)	-	-	-	-	-	-
6	2,0	6,5(12,0)	-	-	0,5	2,5(11,0)	-	-	1,8	7,0(10,2)	-	-	1,0	3,2(9,8)	-	-	-	-	-	-
7	0,5	3,5(10,5)	-	-	0,0	3,0(6,0)	-	-	1,0	5,5(9,0)	-	-	0,0	3,0(5,5)	-	-	-	-	-	-
8	2,0	8,0(10,0)	3,0	9,0(9,0)	1,5	7,0(8,5)	1,5	6,0(6,0)	2,0	7,0(7,0)	-	-	1,0	5,0(7,5)	-	-	1,4	5,4(7,0)	2,0	6,3(8,3)
9	4,0	10,0(10,7)	-	-	3,3	10,3(10,3)	-	-	2,7	8,0(8,0)	-	-	1,7	5,0(8,3)	-	-	-	-	-	-
10	3,7	6,7(12,7)	-	-	2,0	6,3(10,3)	-	-	2,0	5,7(8,3)	-	-	1,7	5,0(6,7)	-	-	-	-	-	-
11	5,3	13,7(19,3)	-	-	5,7	11,3(15,6)	-	-	3,0	6,7(13,3)	-	-	2,7	7,3(13,7)	-	-	-	-	-	-
12	3,0	6,3(12,3)	2,7	6,0(12,7)	2,7	6,0(9,7)	2,3	5,7(18,7)	1,3	4,0(4,0)	2,0	5,3(12,0)	1,3	4,3(10,0)	1,7	5,7(9,3)	1,3	3,7(7,3)	2,0	5,3(11,0)
13	2,3	6,3(10,0)	-	-	0,7	5,0(12,7)	-	-	1,0	5,0(10,7)	-	-	2,0	6,7(11,7)	-	-	-	-	-	-
14	3,5	9,0(14,5)	2,5	6,5(15,0)	2,0	6,0(8,0)	2,5	6,5(11,0)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	4,0(6,5)	-	-

* durchkarbonatisiert

** Karbonatisierungsspitzen

Tabelle 38

Meßwerte der Karbonatisierungstiefe der Versuchswände.

Mittelwerte der gemessenen Karbonatisierungstiefen.

Bohrung	Silo	Lage im Grund- riß	Höhe über OK Fundament [m]	Zone	Karbonatisie- rungstiefe [mm]
1	I	1	1,0	A	3,5
2	I	1	1,0	A	2,0
3	II	2	1,0	A	4,0
4	II	2	1,0	A	4,0
5	I	1	0	O	3,0
6	I	1	4,0	G	2,0
7	I	1	1,0	A	2,0
8	I	1	0	O	3,5
9	I	1	0	O	3,5
10	I	1	4,0	G	3,0
11	II	2	4,0	G	2,5
12	II	2	4,0	G	3,0
13	I	3	0	O	2,0
14	I	3	0	O	2,0
15	I	3	1,0	A	3,0
16	I	3	1,0	A	3,5
17	I	3	4,0	G	4,0
18	I	3	4,0	G	4,0
19	II	4	0	O	3,0
20	II	4	0	O	1,5
21	II	4	1,0	A	5,0
22	II	4	1,0	A	7,0/8,0*
23	II	4	4,0	G	7,0/12,0*
24	II	4	4,0	G	6,0
25	II	4	1,0	A	14,0*

✕ Meßwerte an aufgebohrten, senkrechten Beton-
rissen

Tabelle 39

Zusammenstellung aller gemessenen Werte der
Karbonatisierungstiefe der vorh. Silos.

<i>Bereich</i>	<i>Lage</i>	<i>größte gemessene Karbonatisierungstiefe [mm]</i>	<i>Mittelwert und (Standardabweichung) aller Meßwerte [mm]</i>	<i>erwartete max. Endkarbonatisierungs- tiefe [mm]</i>
Oberkante Fundament	geschützt	3,5	3,333 (0,288)	5,0
	ungeschützt	3,0	2,125 (0,629)	3,6
Anfangsbereich (1,0 m über OK Fundament)	geschützt	4,0	3,100 (1,025)	5,7
	ungeschützt	7,0	4,625 (1,797)	8,3
Gleitbereich (4,0 m über OK Fundament)	geschützt	3,0	2,625 (0,479)	4,3
	ungeschützt	7,0	5,250 (1,500)	8,3

Tabelle 40

Gemessene Werte und erwartete Endwerte der Karbonatisierungstiefe der vorh. Silos.

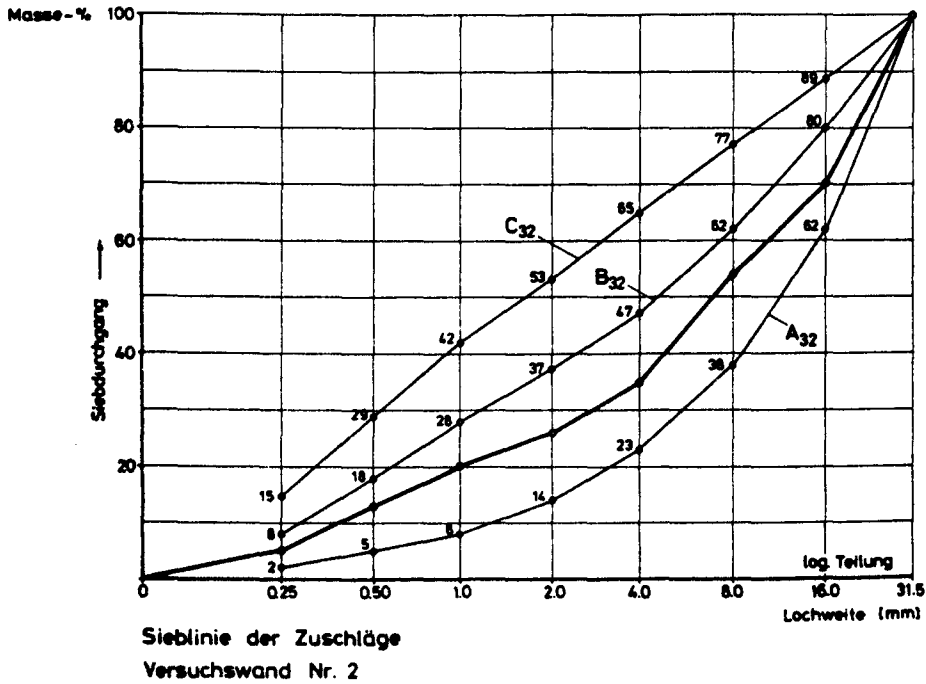
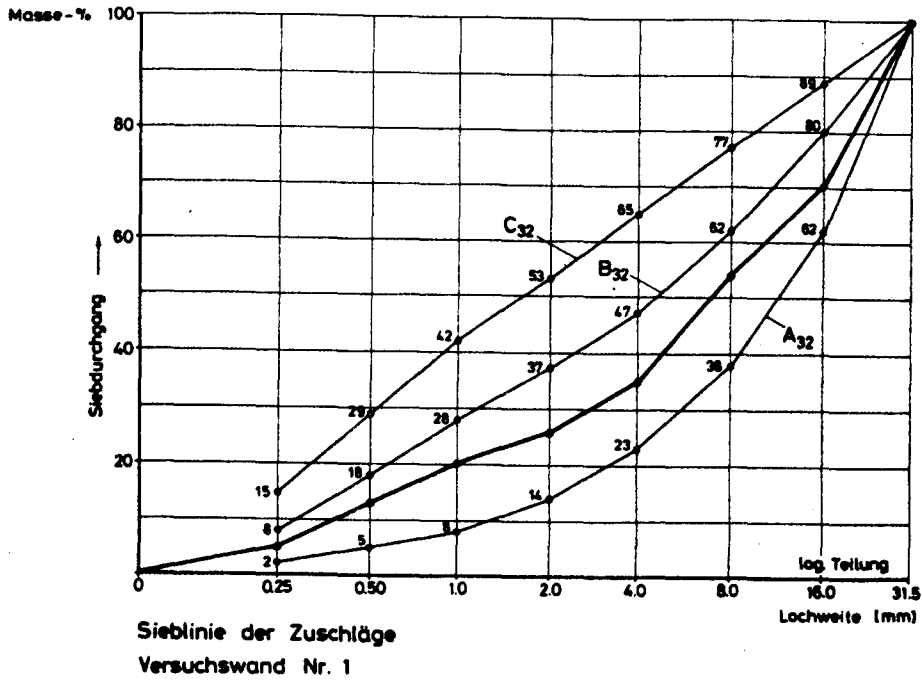


Bild 9

Sieblinie der Zuschläge des Betons der Versuchswände Nr. 1 und Nr. 2.

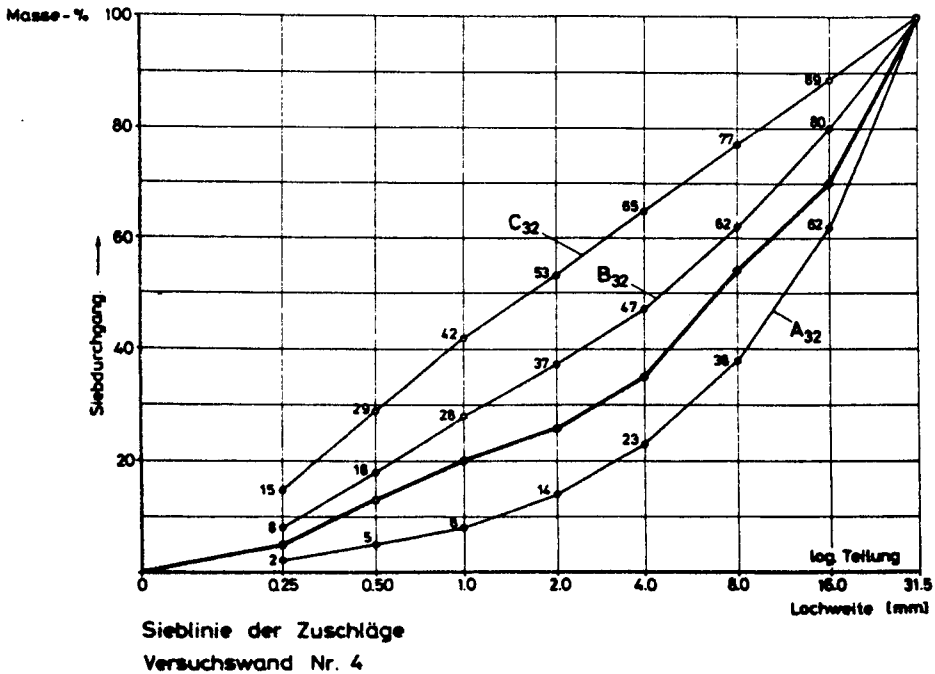
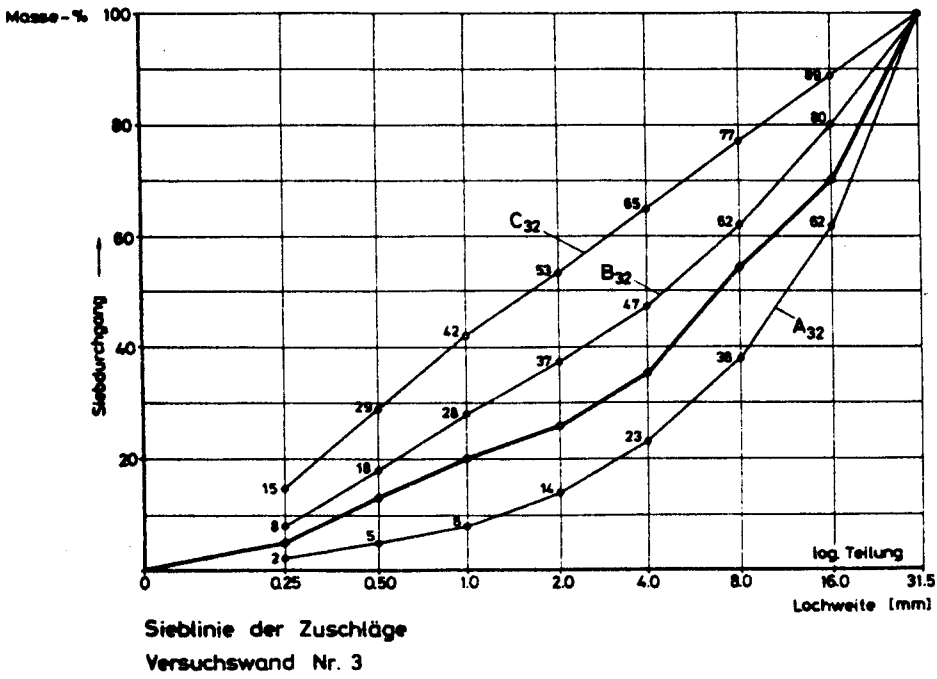


Bild 10

Sieblinie der Zuschläge des Betons der Versuchswände Nr. 3 und Nr. 4.

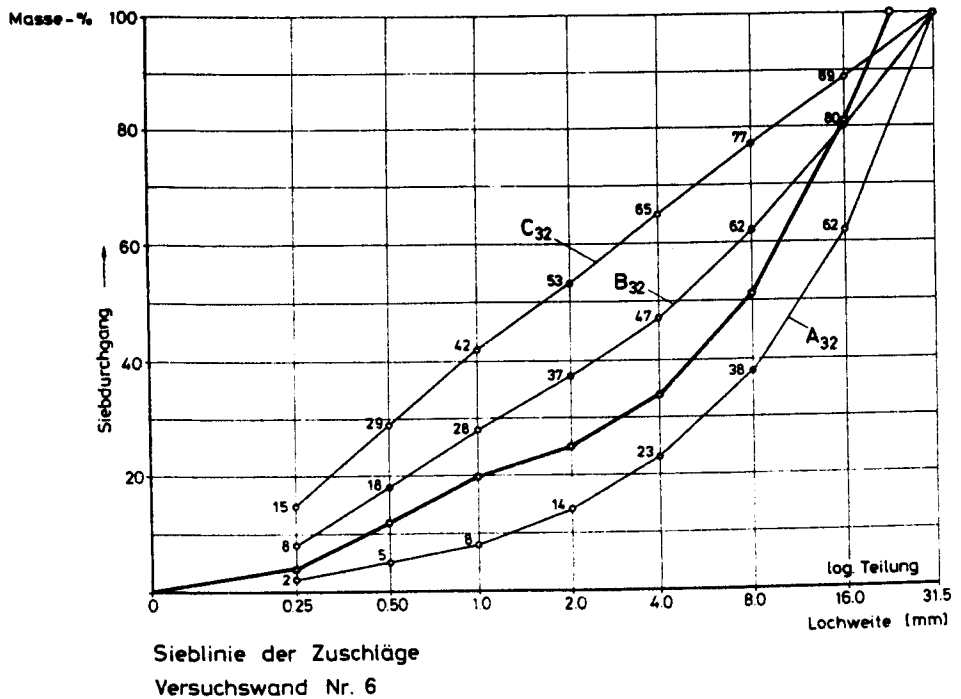
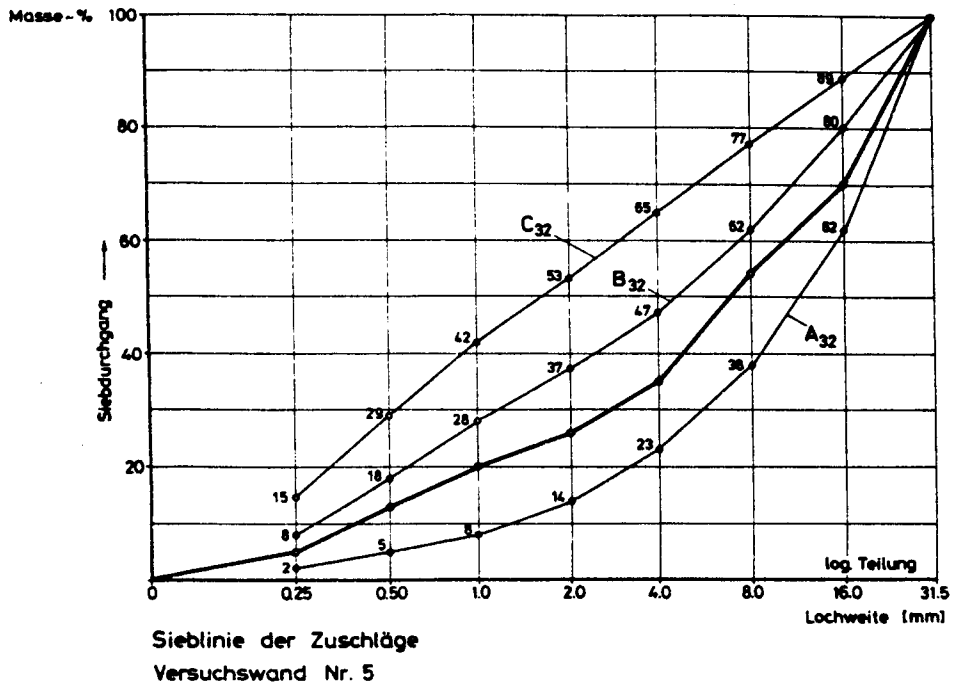


Bild 11

Sieblinie der Zuschläge des Betons der Versuchswände Nr. 5 und Nr. 6

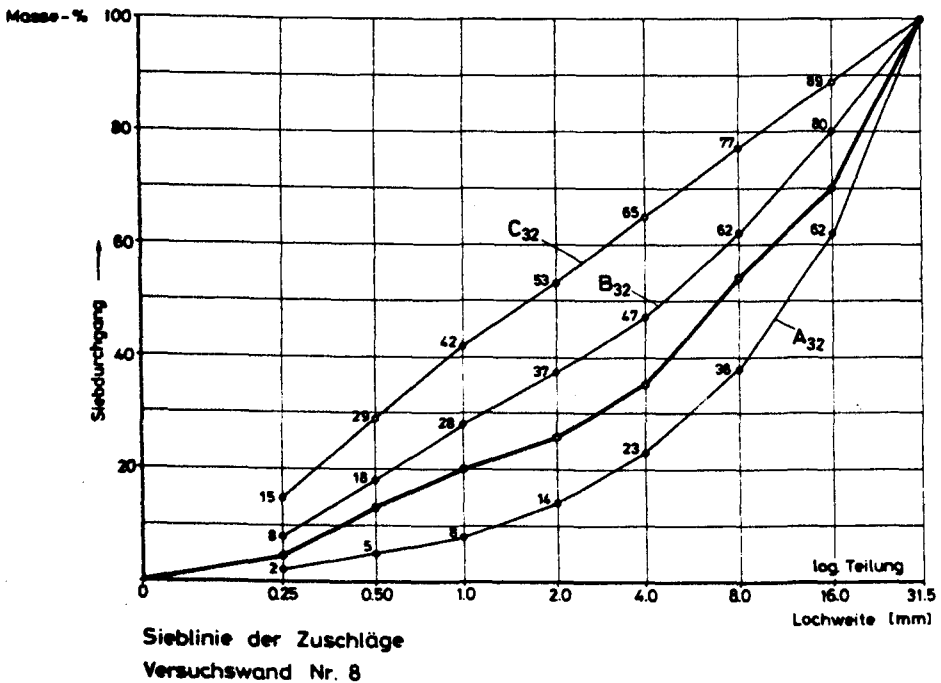
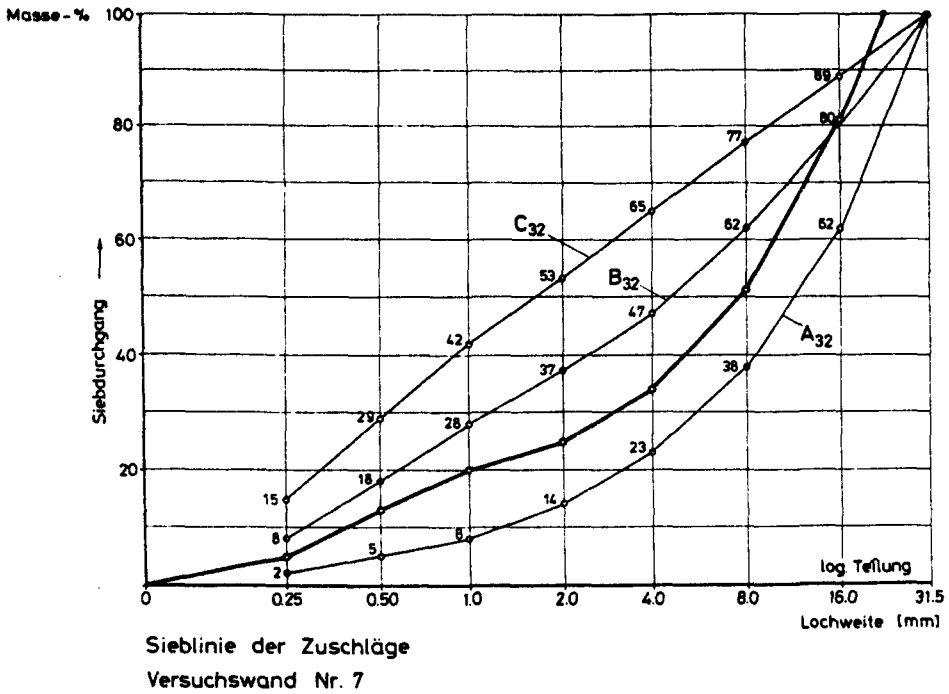


Bild 12

Sieblinie der Zuschläge des Betons der Versuchswände Nr. 7 und Nr. 8.

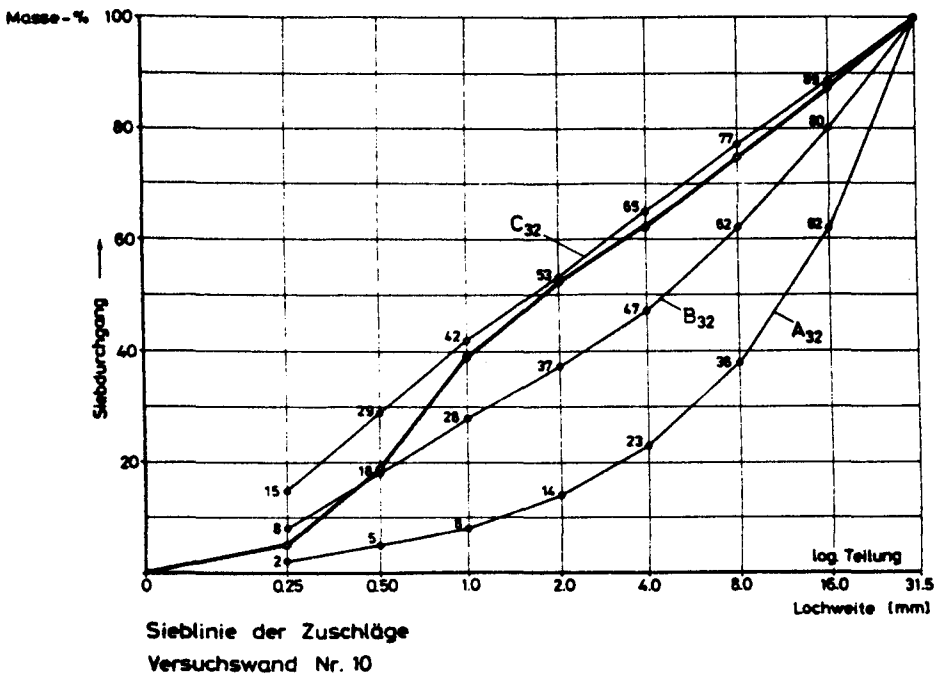
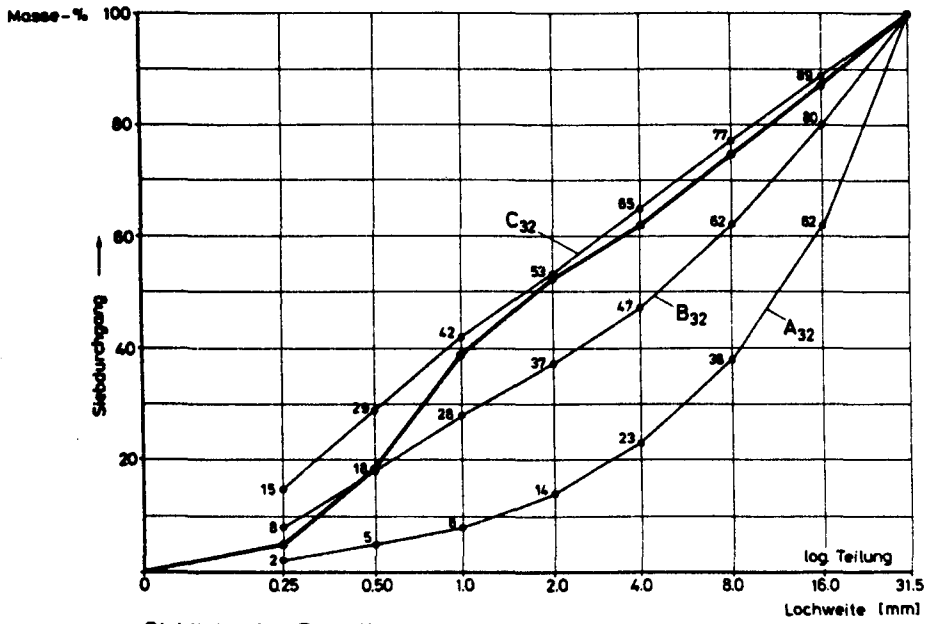


Bild 13

Sieblinie der Zuschläge des Betons der Versuchswände Nr. 9 und Nr. 10.

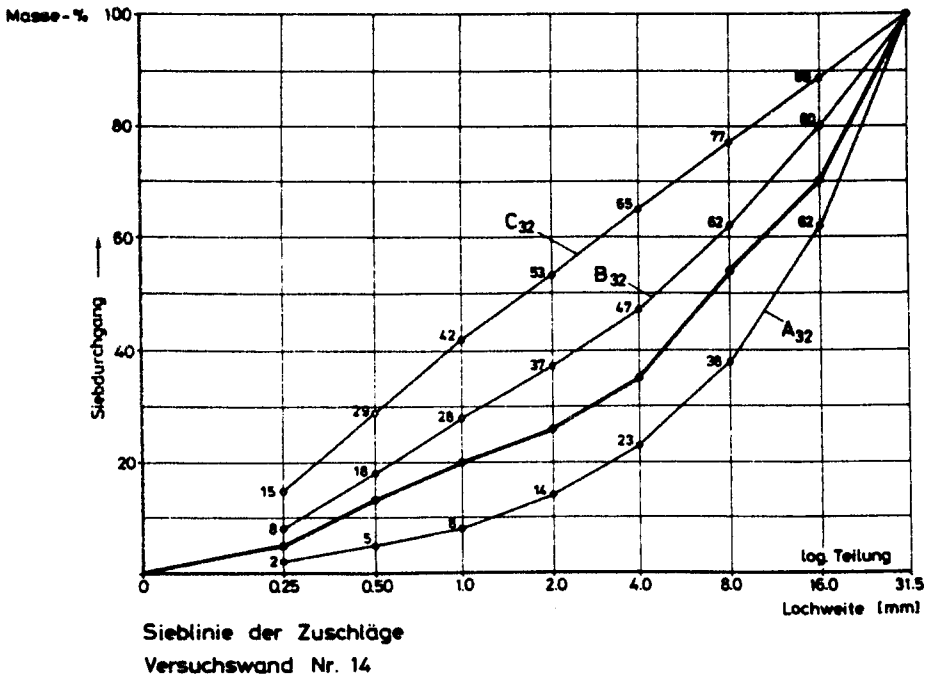
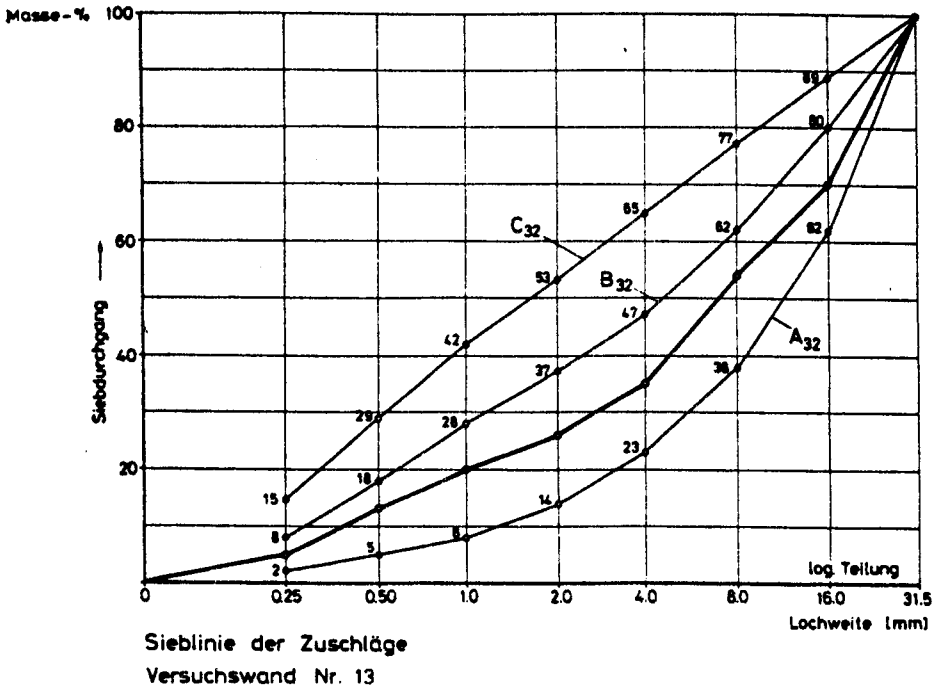


Bild 15

Sieblinie der Zuschläge des Betons der Versuchswände Nr. 13 und Nr. 14.

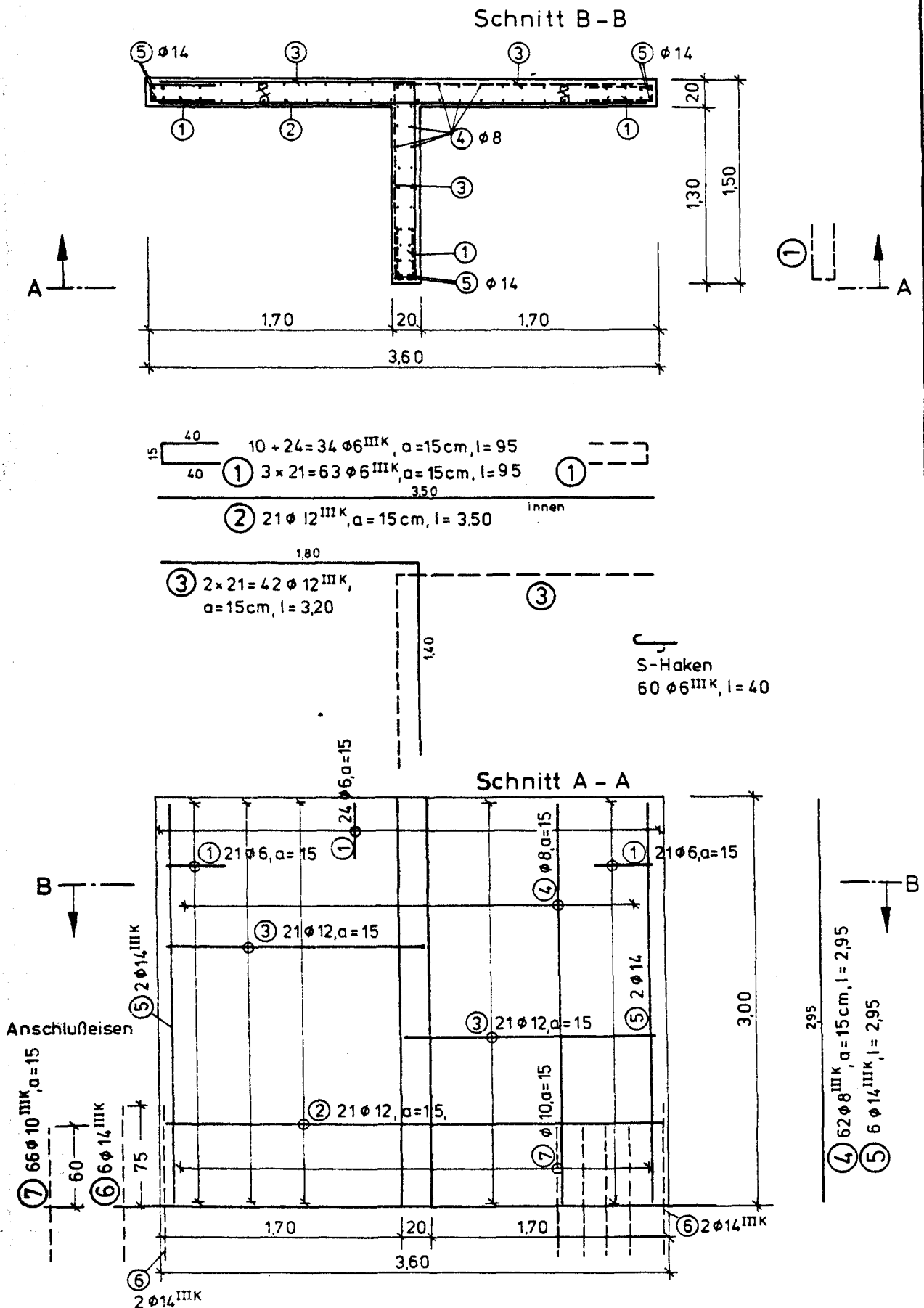
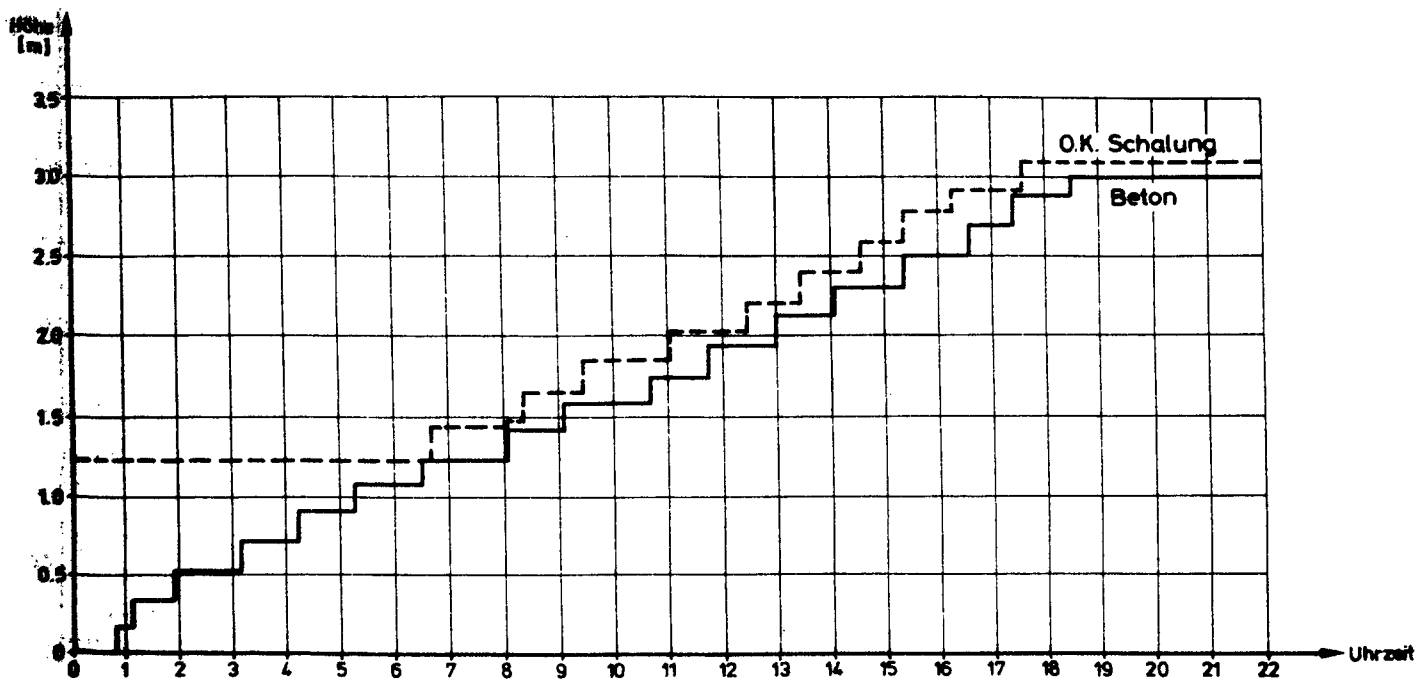


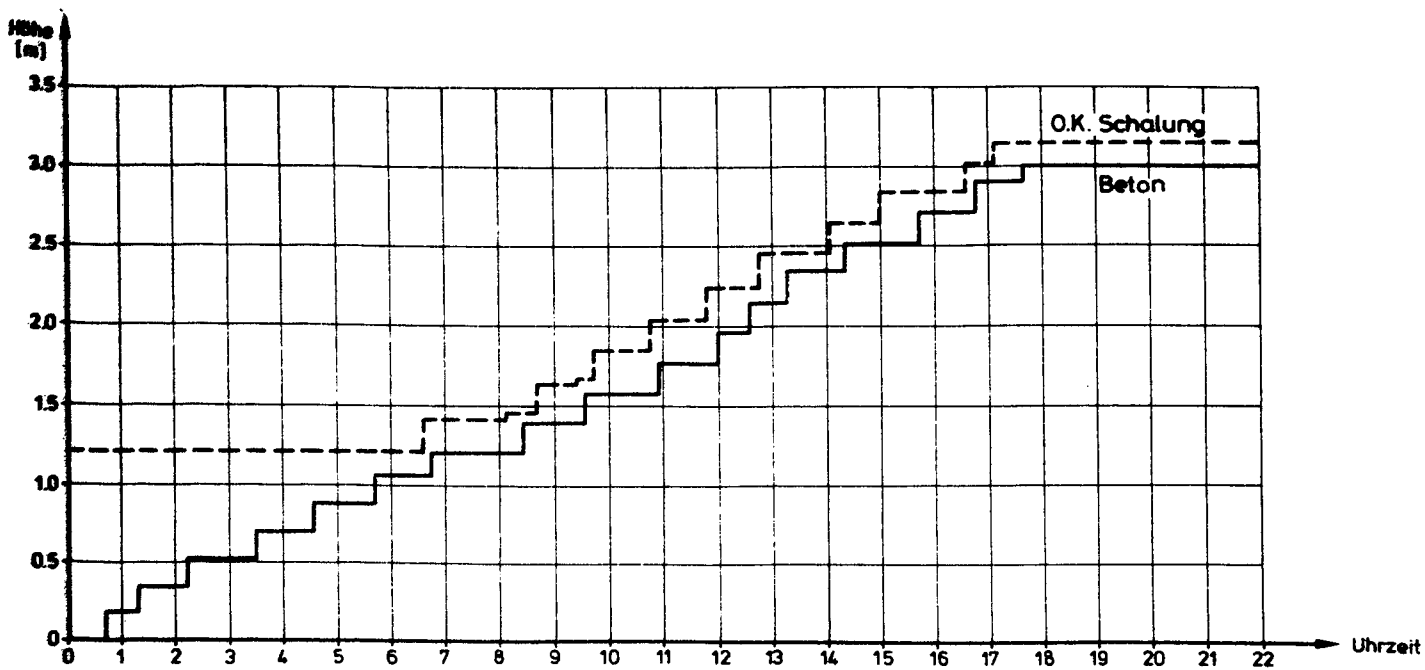
Bild 17

Bewehrung der Versuchswände

Nr. 4, 8, 12 und 14.



Wand Nr. 1



Wand Nr. 2

Bild 18

Zeitverlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Schalung bei den Versuchswänden Nr. 1 und Nr. 2 ("Freiziehen" der Schalung nicht dargestellt).

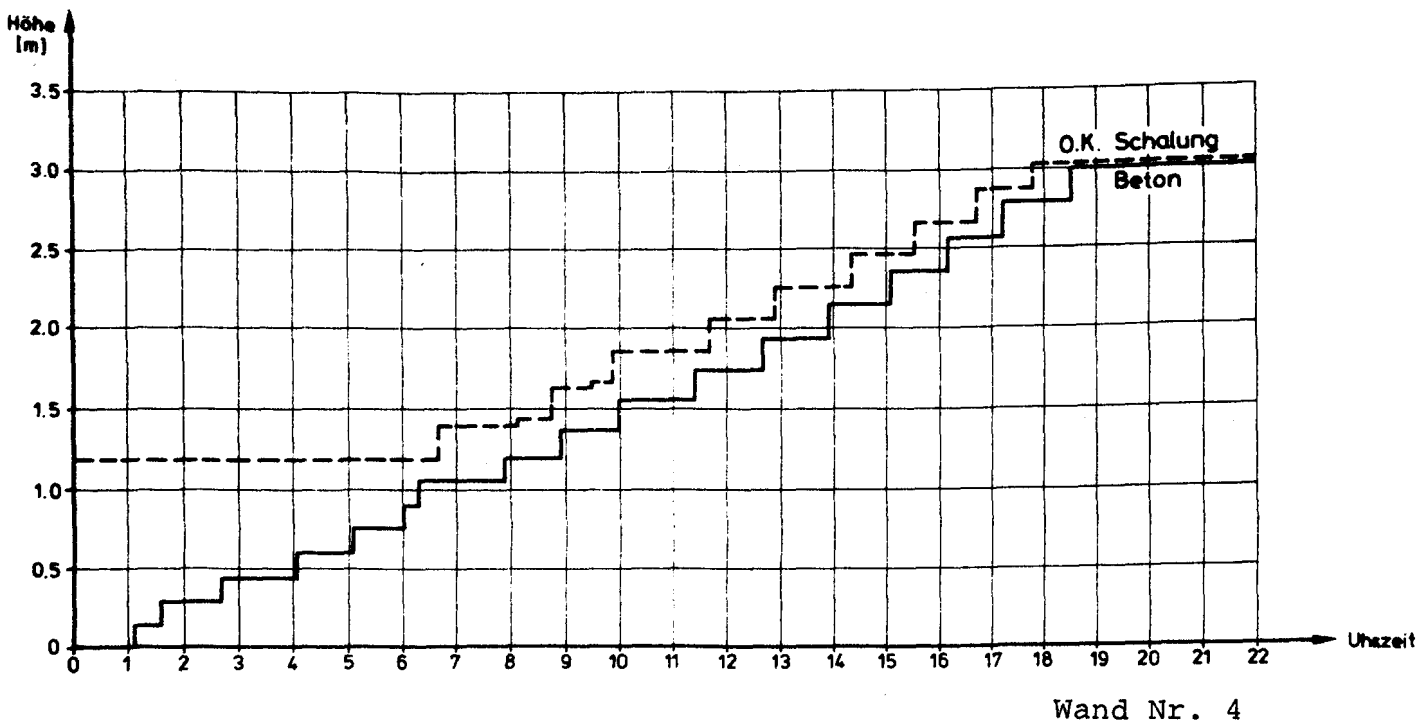
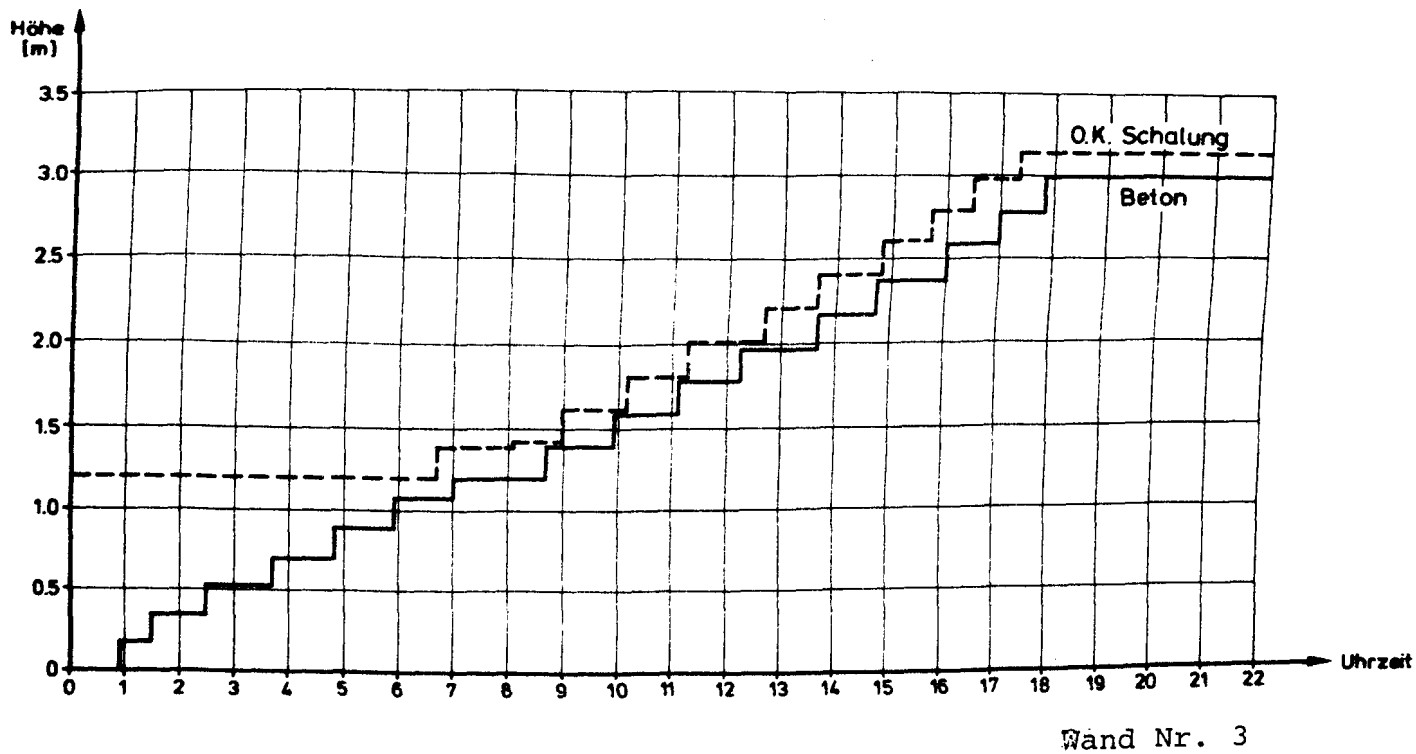


Bild 19

Zeitverlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Schalung bei den Versuchswänden Nr. 3 und Nr. 4 ("Freiziehen" der Schalung nicht dargestellt).

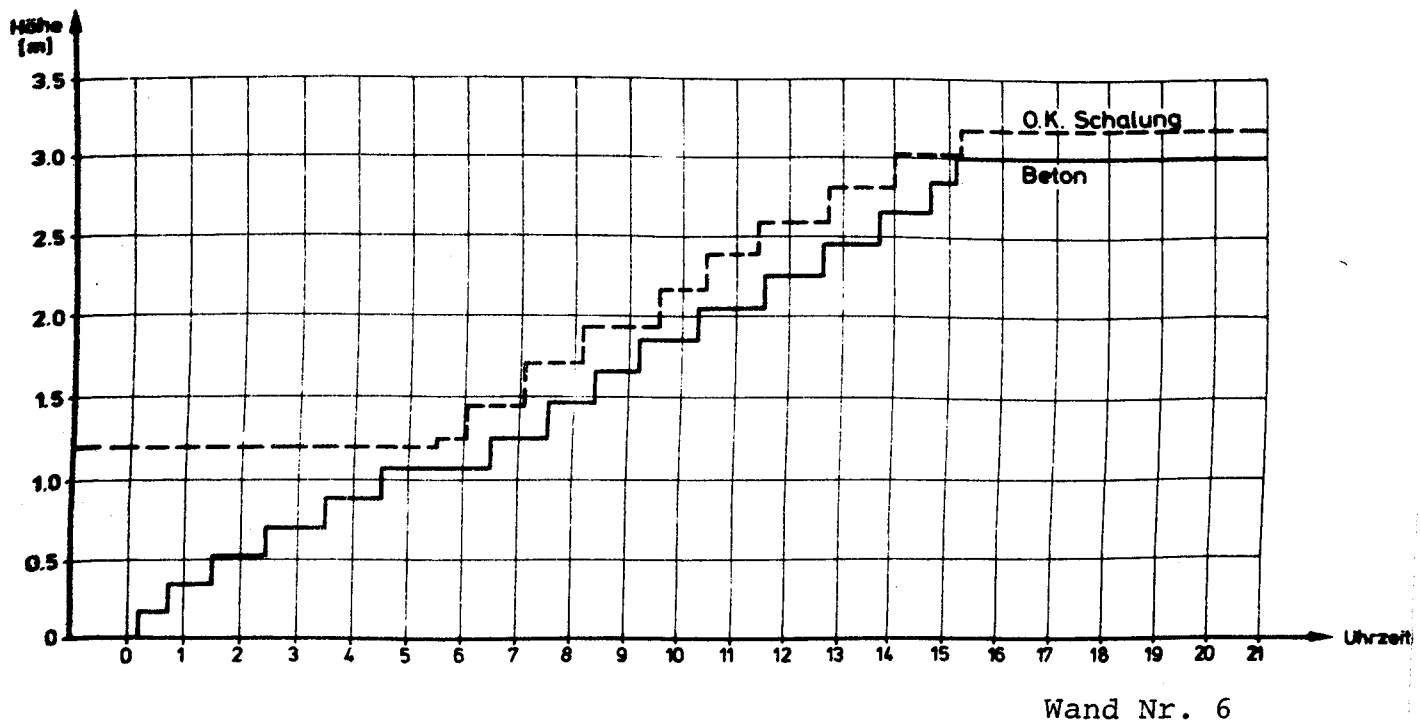
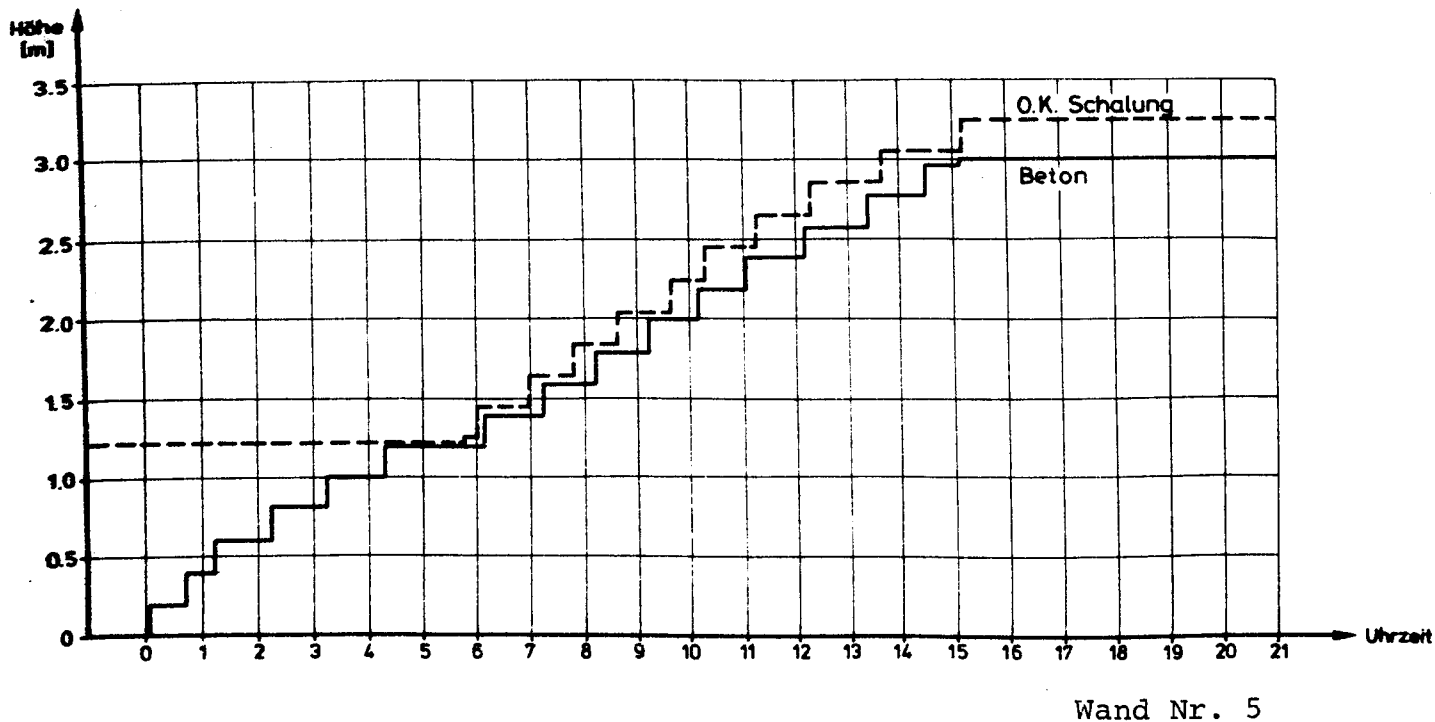
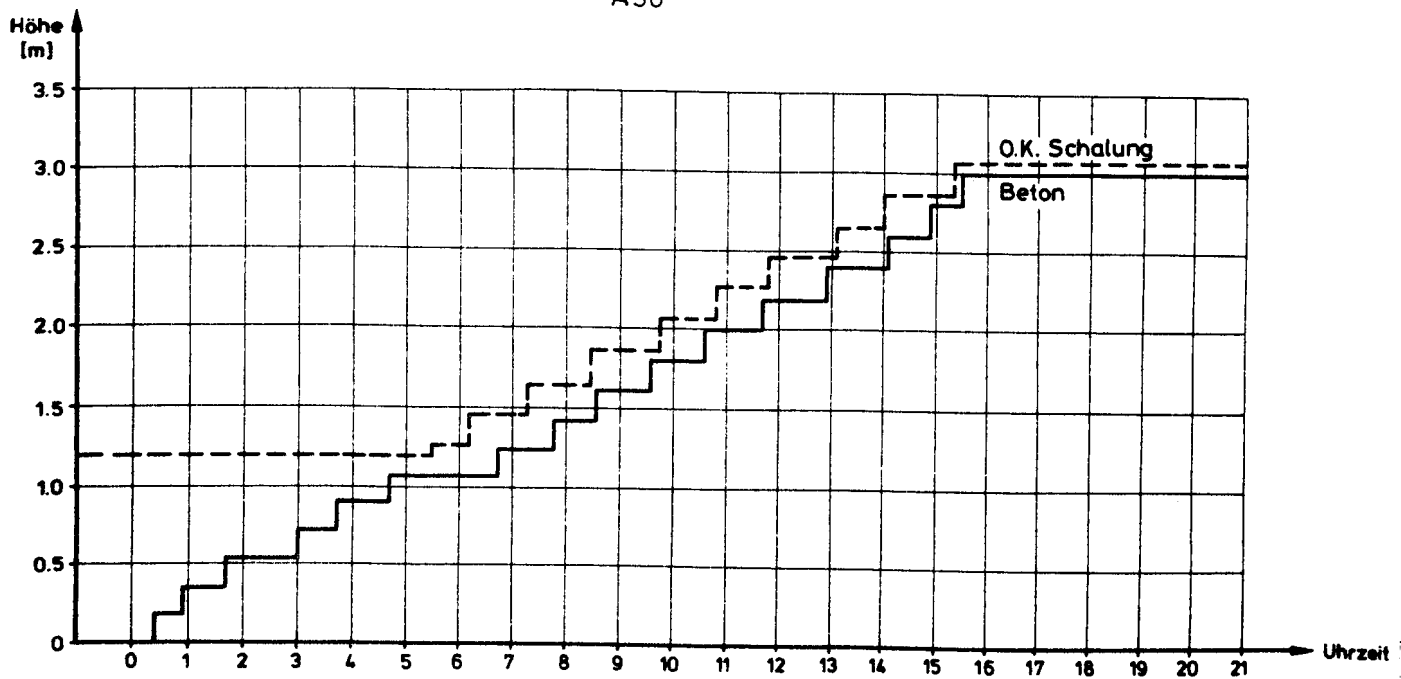


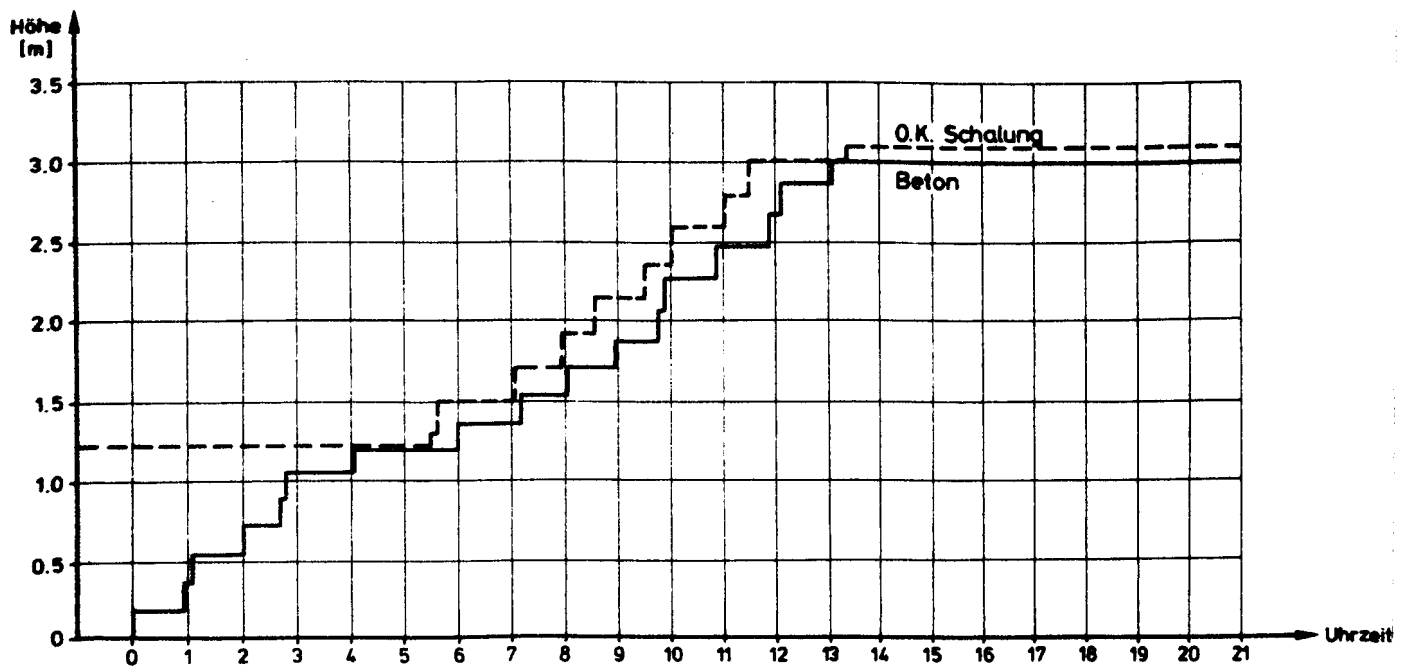
Bild 20

Zeitverlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Schalung bei den Versuchswänden Nr. 5 und Nr. 6 ("Freiziehen" der Schalung nicht dargestellt).

A38



Wand Nr. 7



Wand Nr. 8

Bild 21

Zeitverlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Schalung bei den Versuchswänden Nr. 7 und Nr. 8 ("Freiziehen" der Schalung nicht dargestellt).

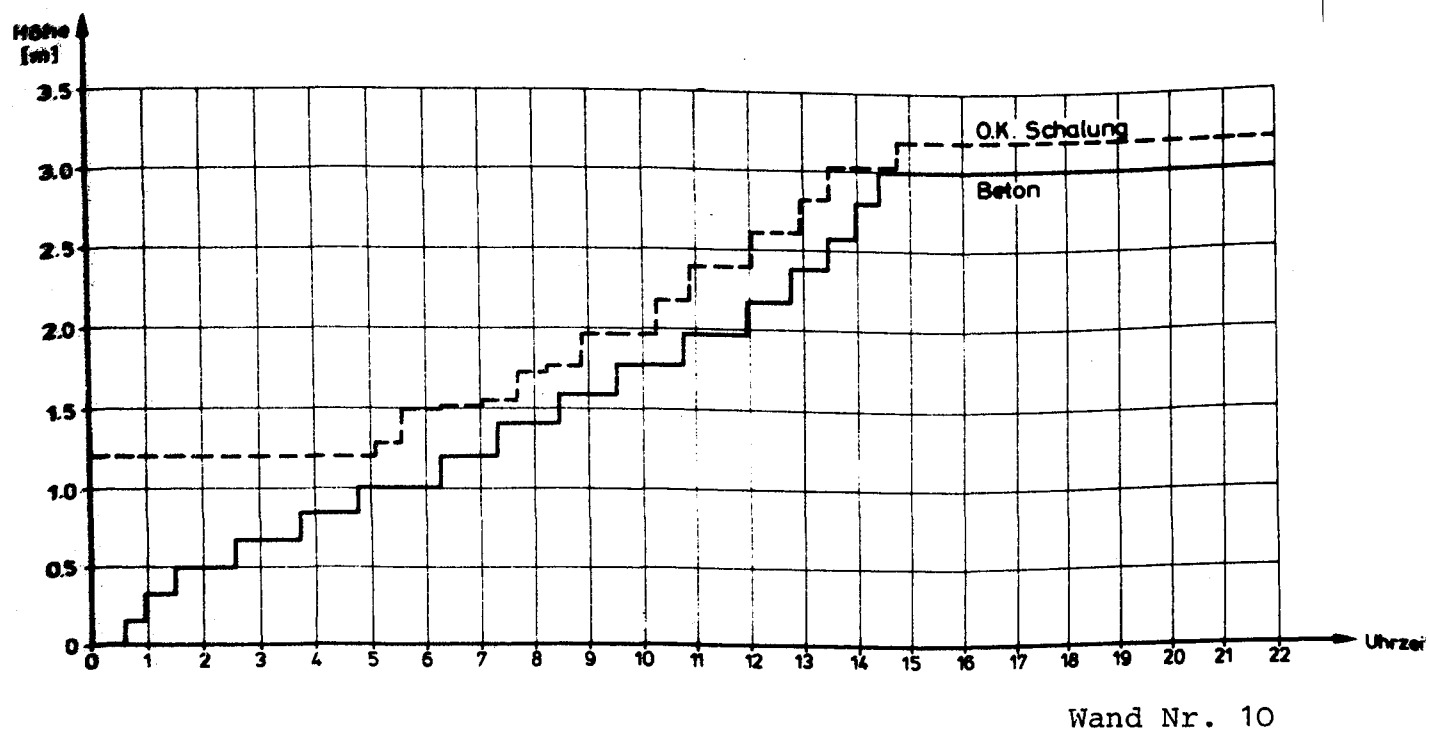
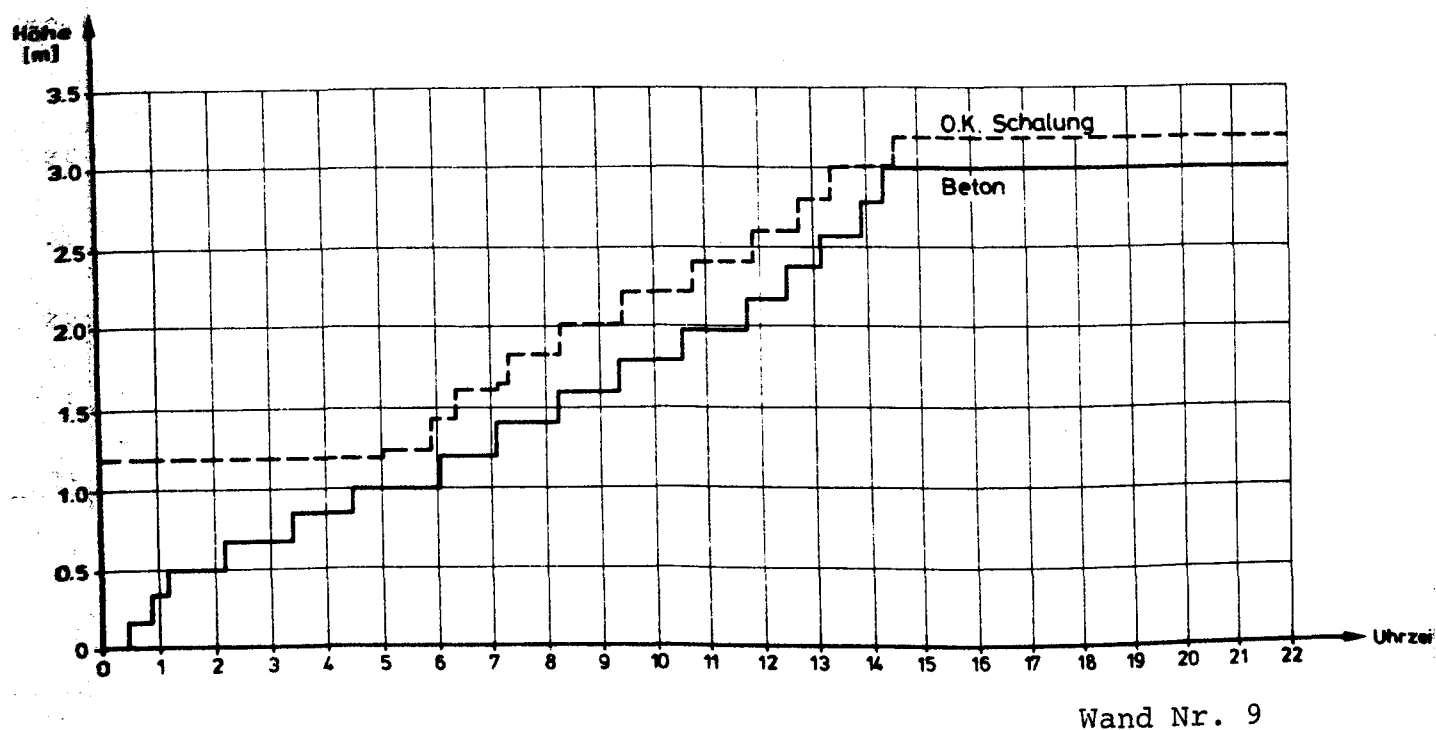
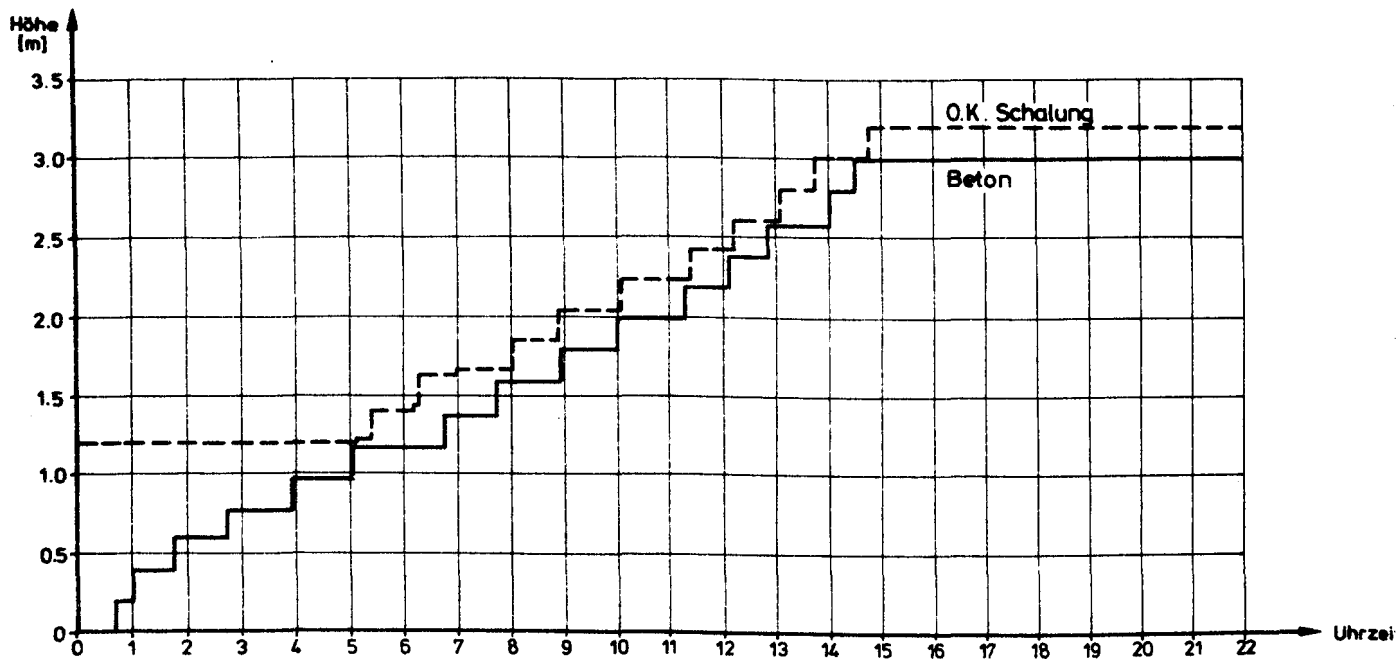
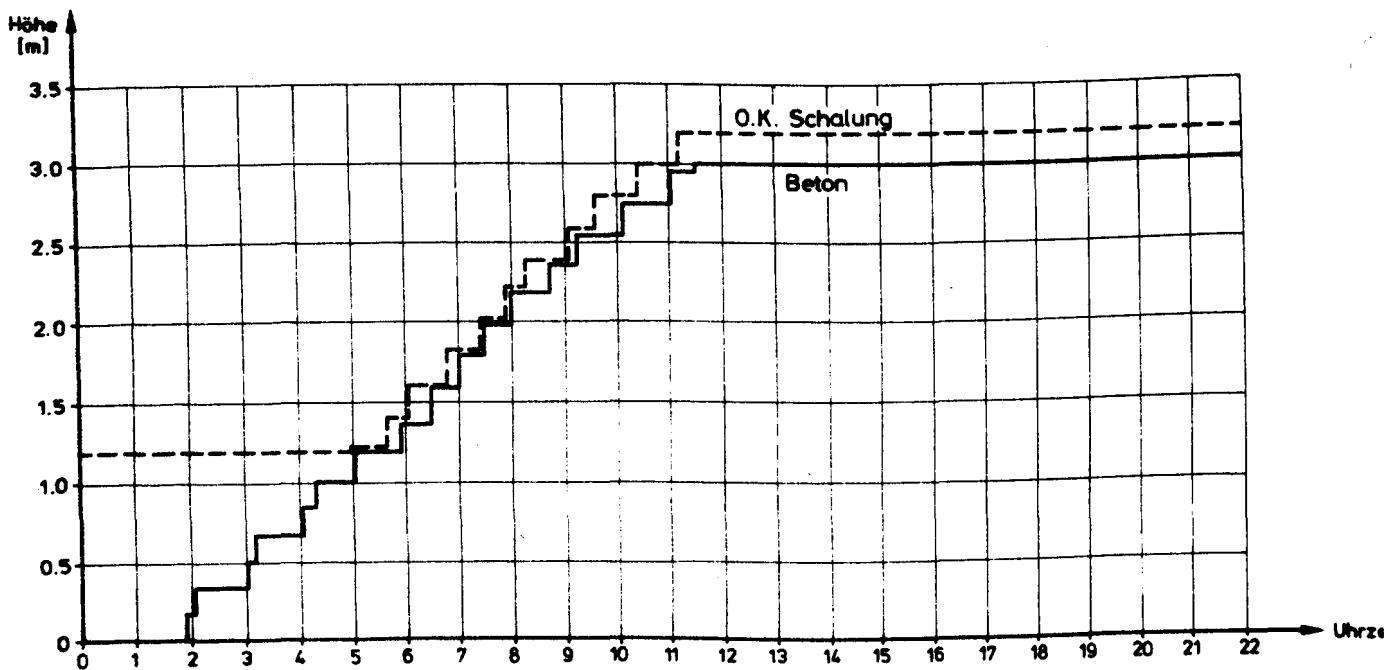


Bild 22

Zeitverlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Schalung bei den Versuchswänden Nr. 9 und Nr. 10 ("Freiziehen" der Schalung nicht dargestellt).



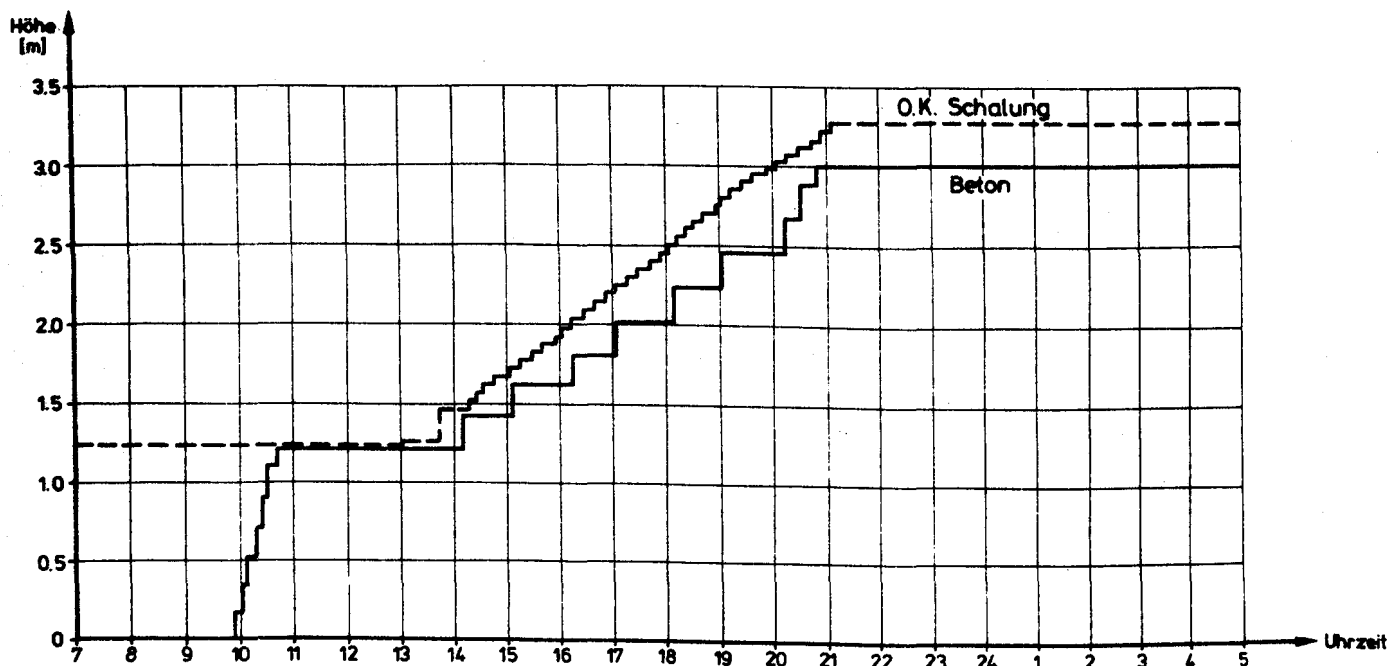
Wand Nr. 11



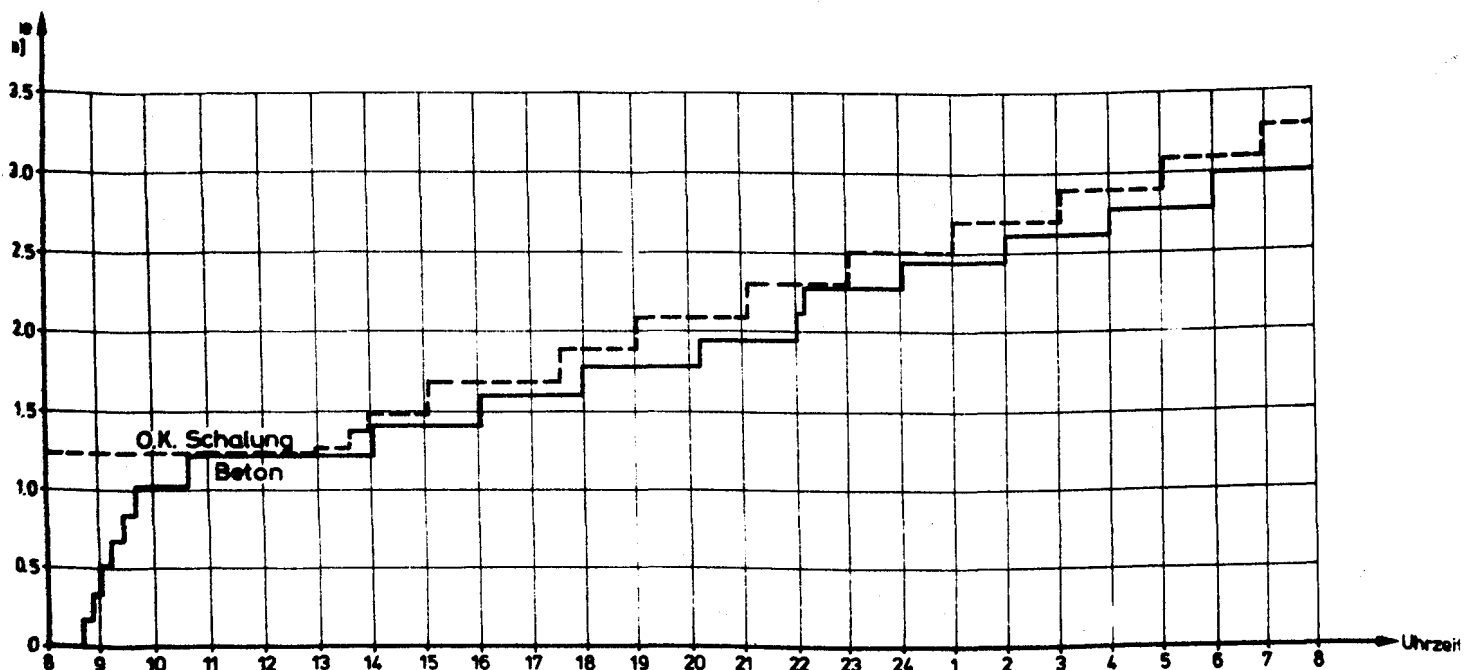
Wand Nr. 12

Bild 23

Zeitverlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Schalung bei den Versuchswänden Nr. 11 und Nr. 12 ("Freiziehen" der Schalung nicht dargestellt).



Wand Nr. 13



Wand Nr. 14

Bild 24

Zeitverlauf des Ansteigens des Betons und des Hebens der Schalung bei den Versuchswänden Nr. 13 und Nr. 14 ("Freiziehen" der Schalung nicht dargestellt).



Bild 25

Bild 10
Oberflächenrauigkeit der Versuchswände Nr. 1 und 2. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.



Bild 26

Oberflächenrauigkeit der Versuchswände Nr. 3 und 5. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.

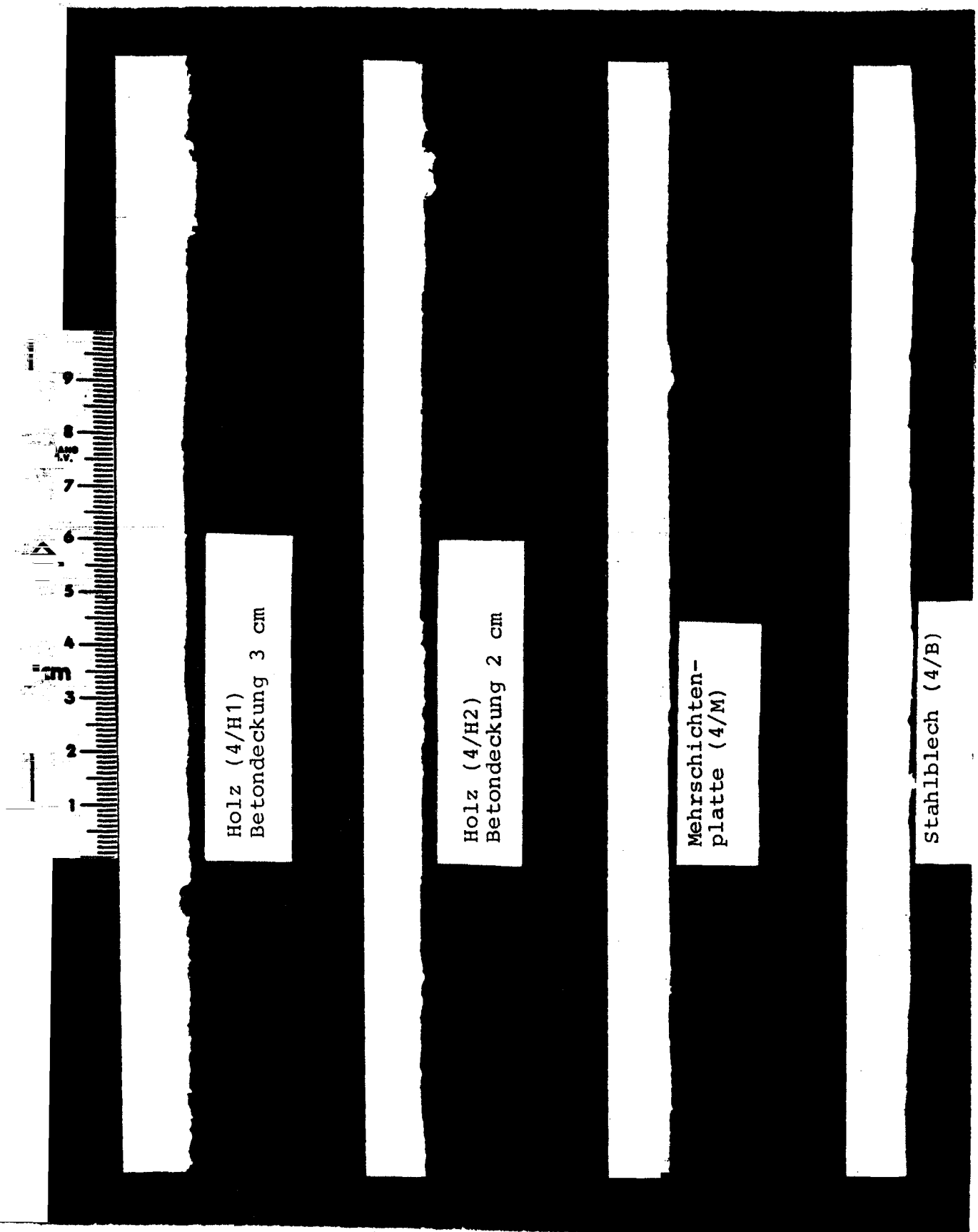
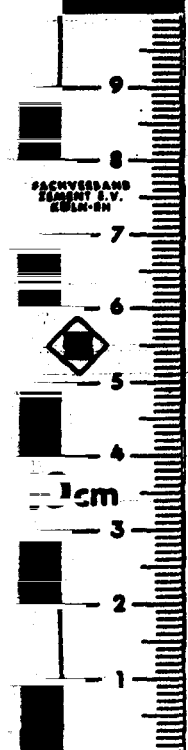


Bild 27

Oberflächenrauigkeit der Versuchswand Nr. 4. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.



Holz (6/H)

Mehrschichten-
platte (6/M)

Holz (7/H)

Mehrschichten-
platte (7/M)

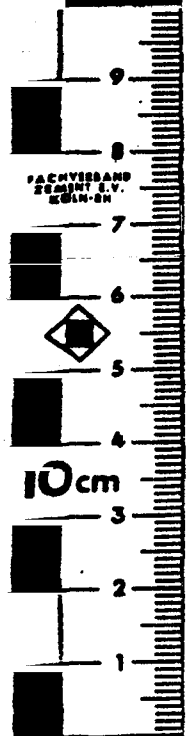
Bild 28

Oberflächenrauigkeit der Versuchswände Nr. 6 und 7. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.



Bild 29

Oberflächenrauigkeit der Versuchswand Nr. 8. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.



Holz (9/H1)

Holz (9/H2)

Mehrschichten-
platte (9/M1)

Mehrschichtenplatte
(9/M2)

Bild 30

Oberflächenrauigkeit der Versuchswand Nr. 9. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.

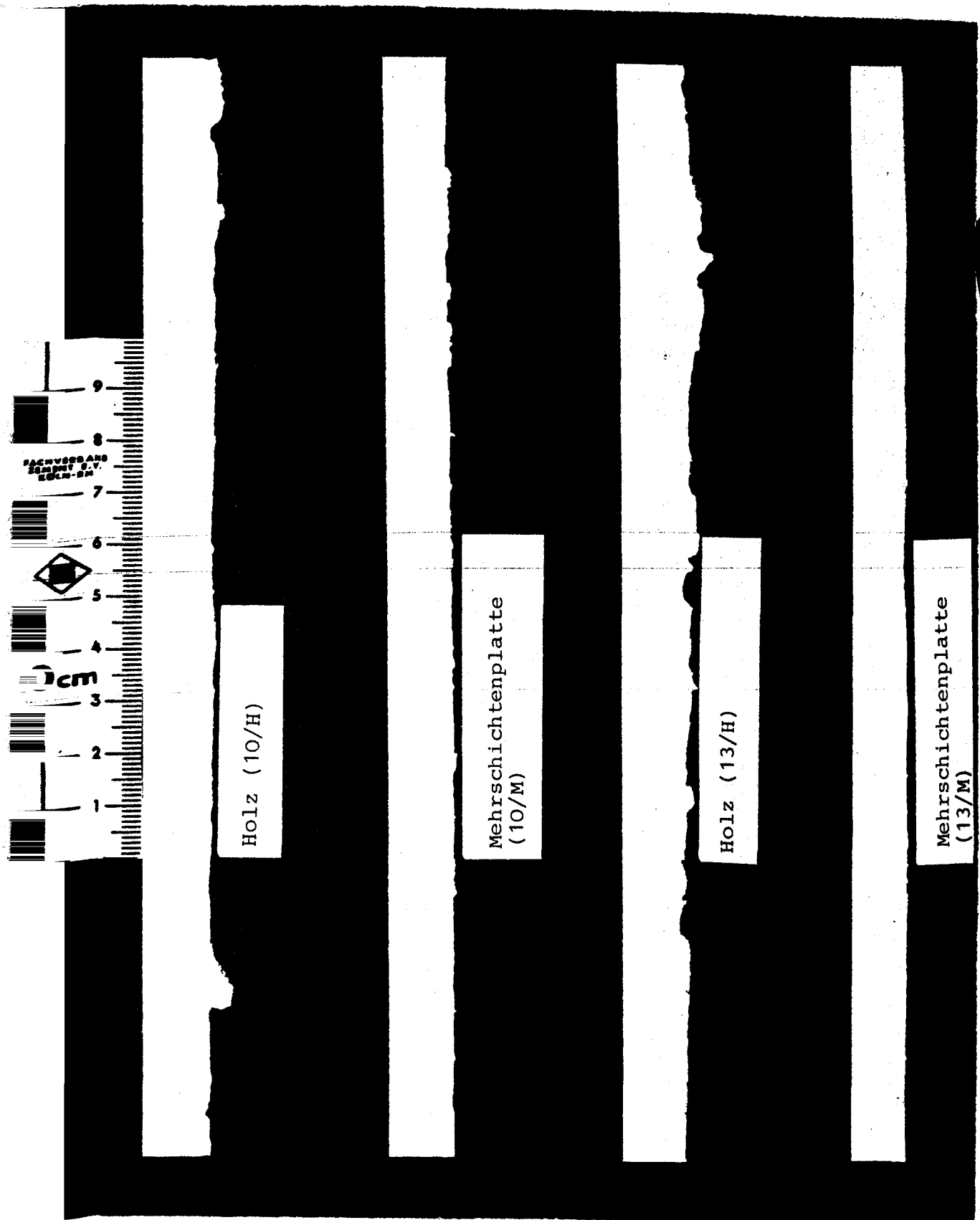


Bild 31

Oberflächenrauigkeit der Versuchswände Nr. 10 und 13. Vertikalschnitt. Angegeben ist das jeweilige Schalungsmaterial.

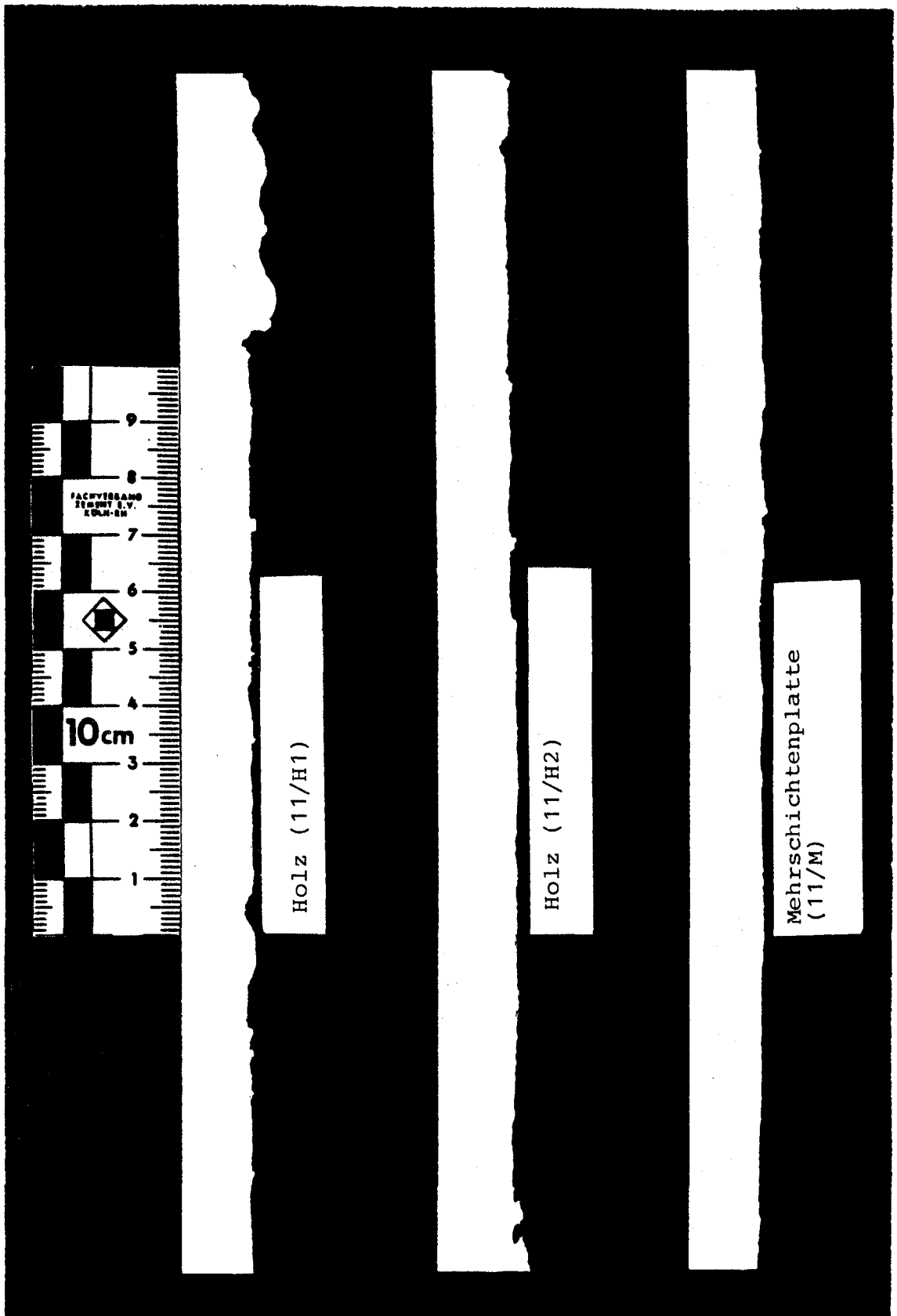


Bild 32

Oberflächenrauigkeit der Versuchswand Nr. 11. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.



Bild 33

Oberflächenrauigkeit der Versuchswand Nr. 12. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.

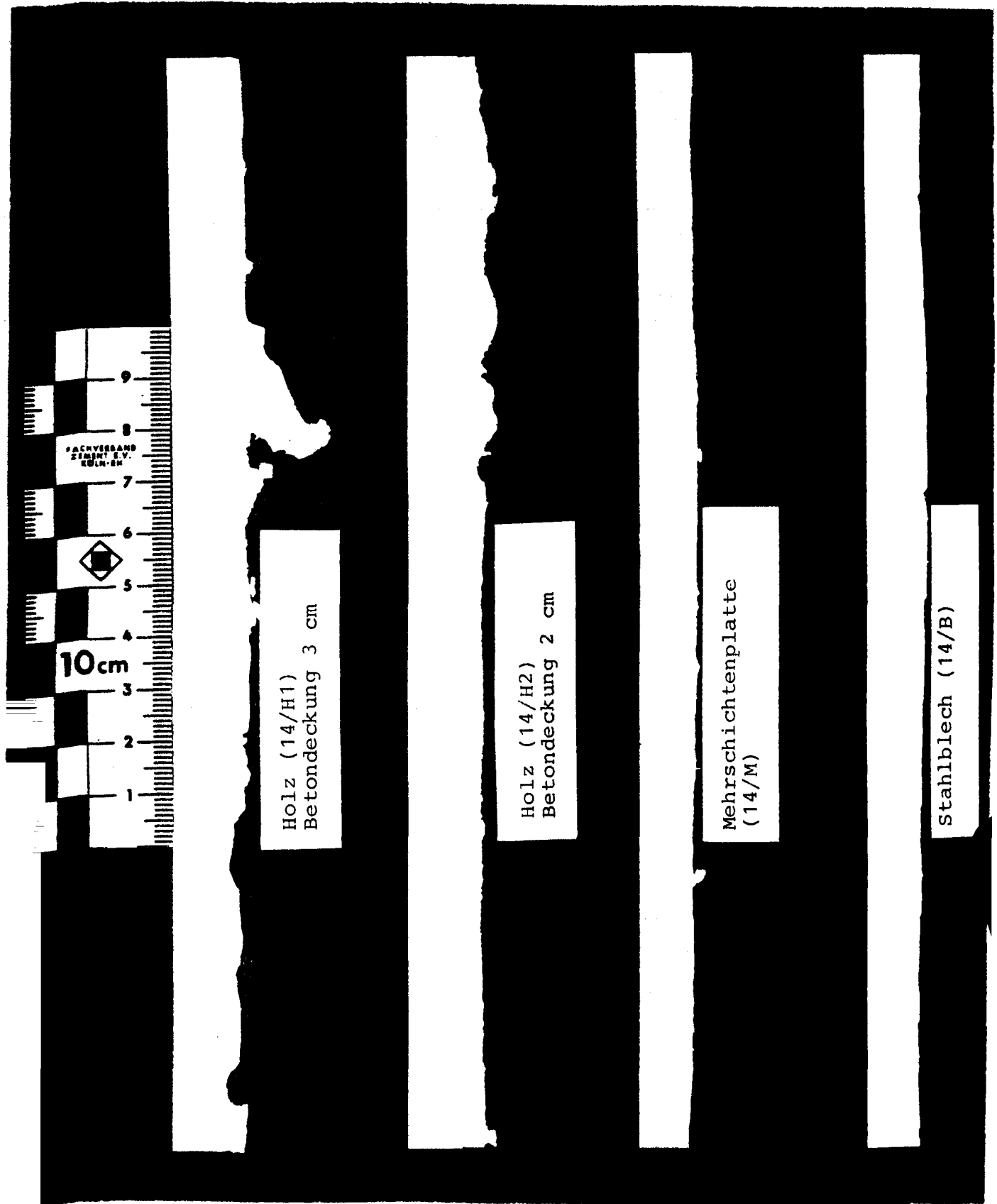


Bild 34

Oberflächenrauigkeit der Versuchswand Nr. 14. Vertikalschnitt.
Angabe ist das jeweilige Schalungsmaterial.

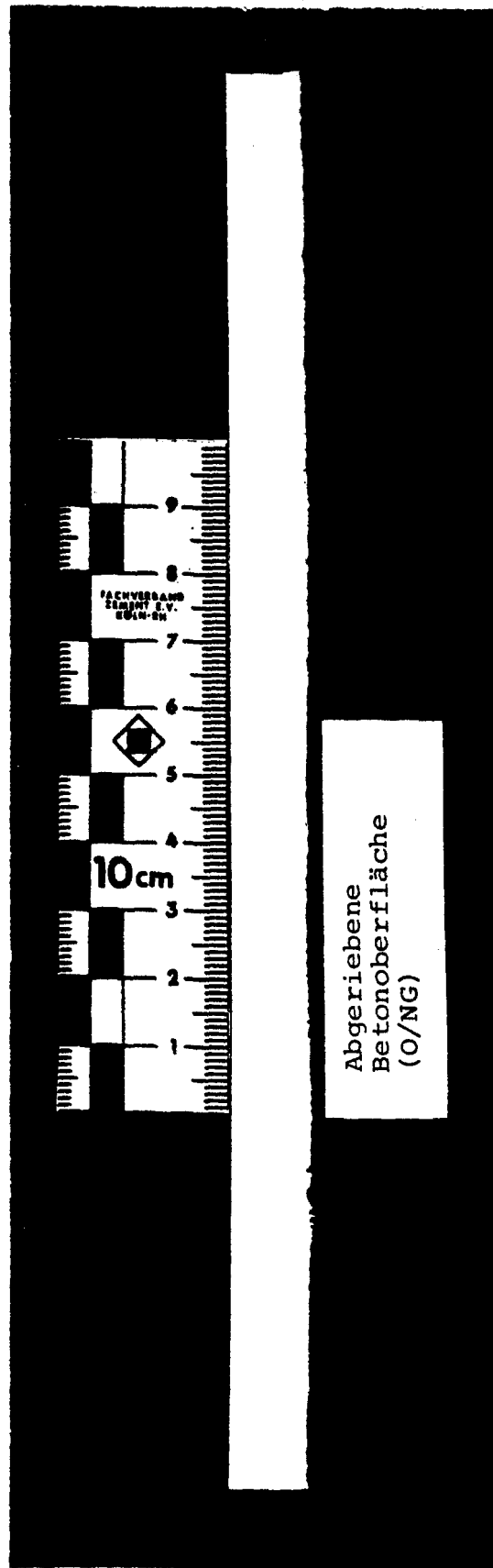


Bild 35

Oberflächenrauigkeit einer in bauüblicher Art abgeriebenen Betonoberfläche.

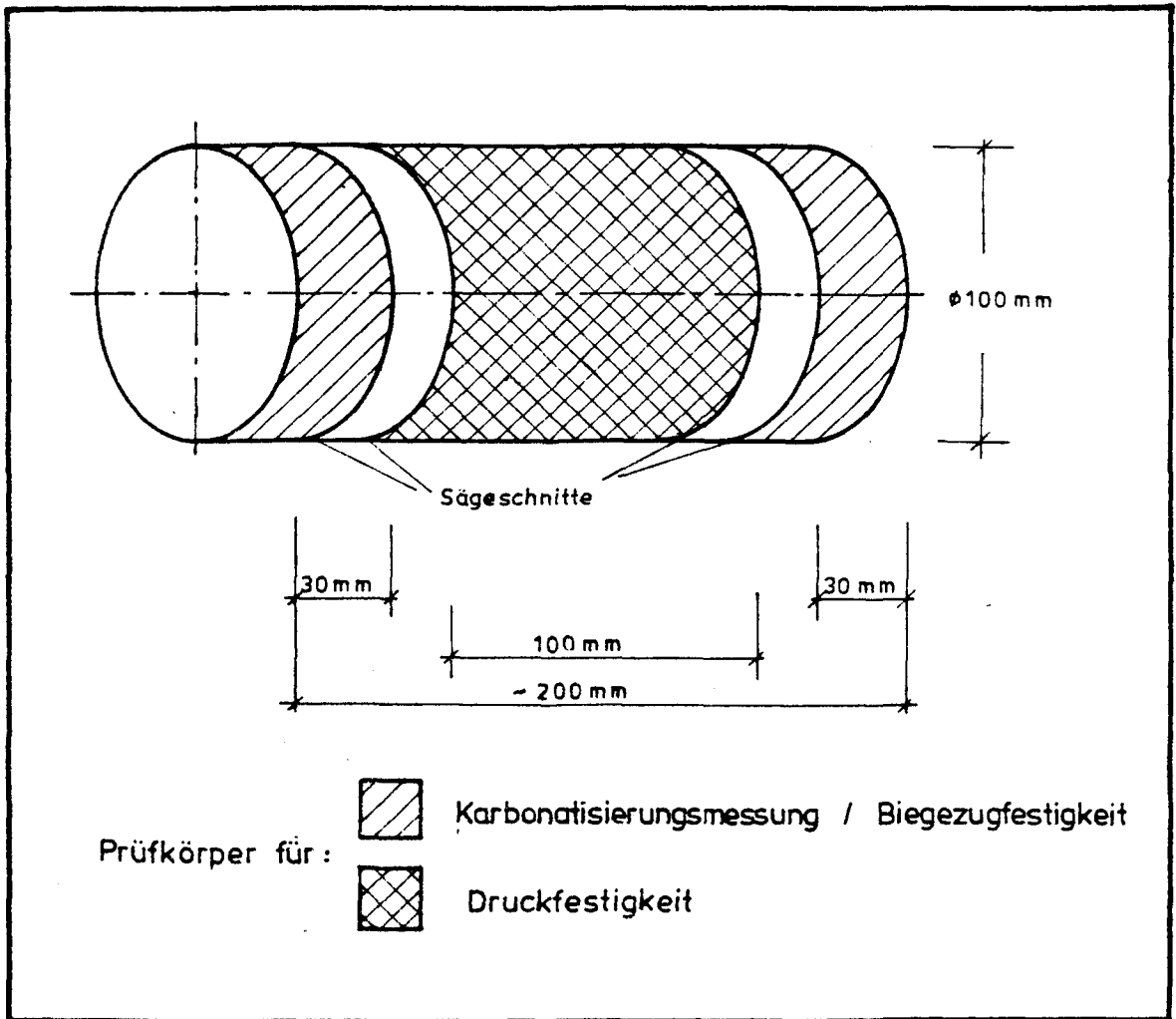


Bild 36

Zerschneiden der Bohrkerne in Prüfkörper für die Messung der Karbonatisierungstiefe/Biegezugfestigkeit und der Druckfestigkeit.

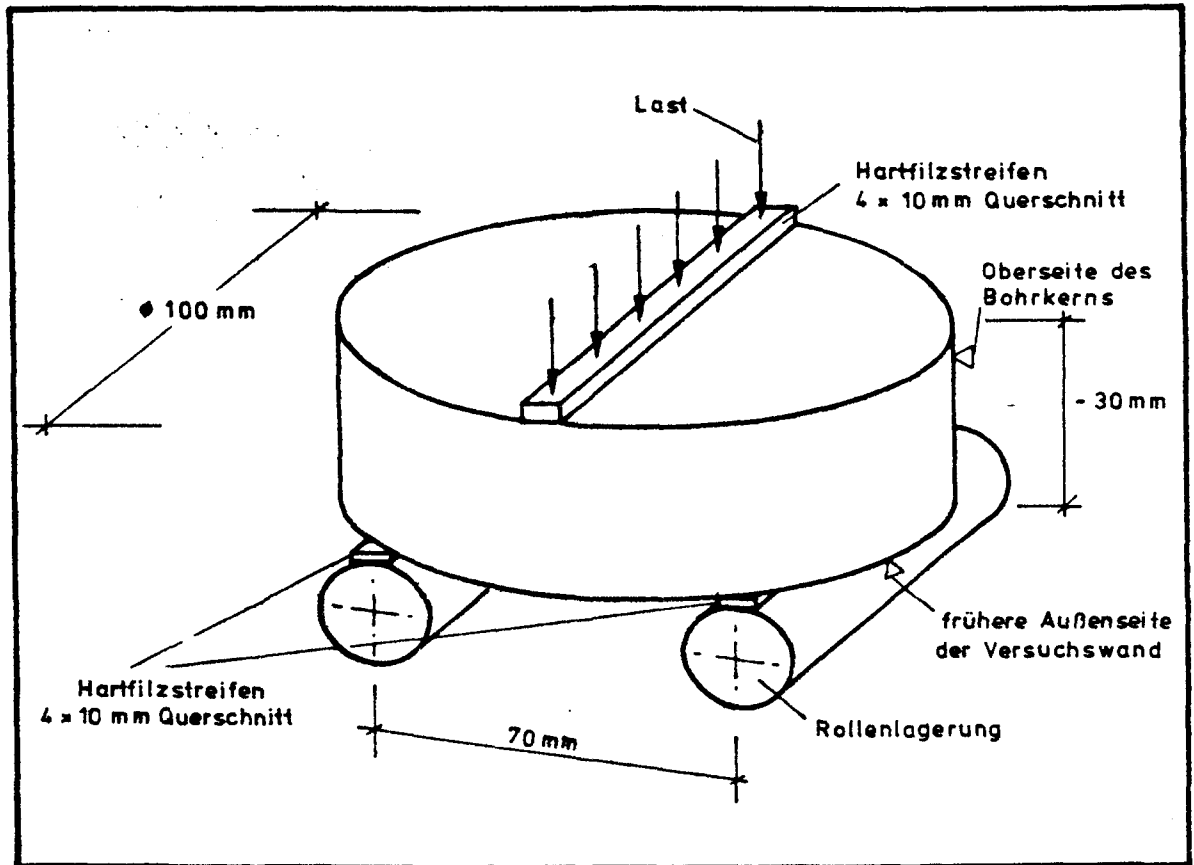
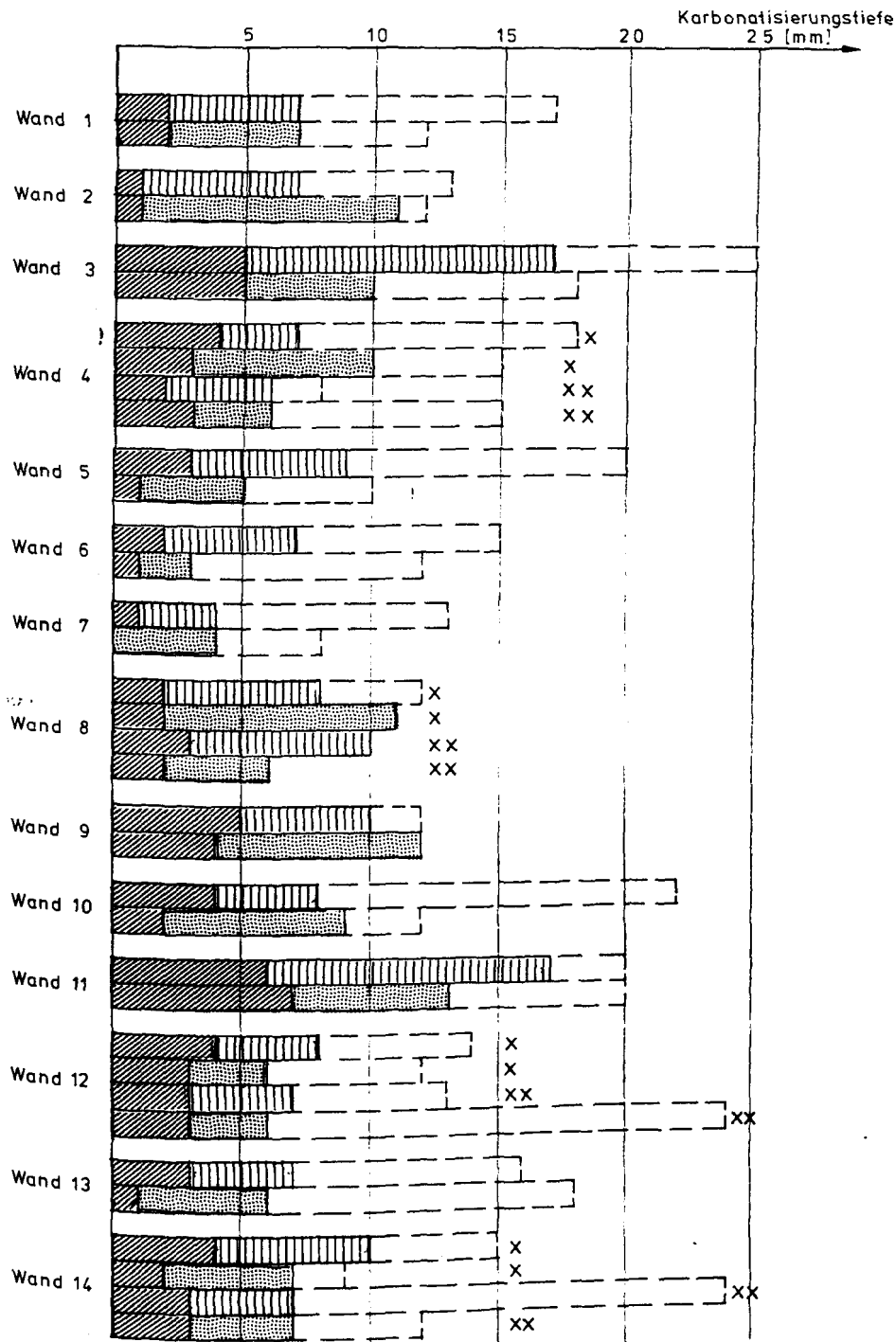


Bild 37

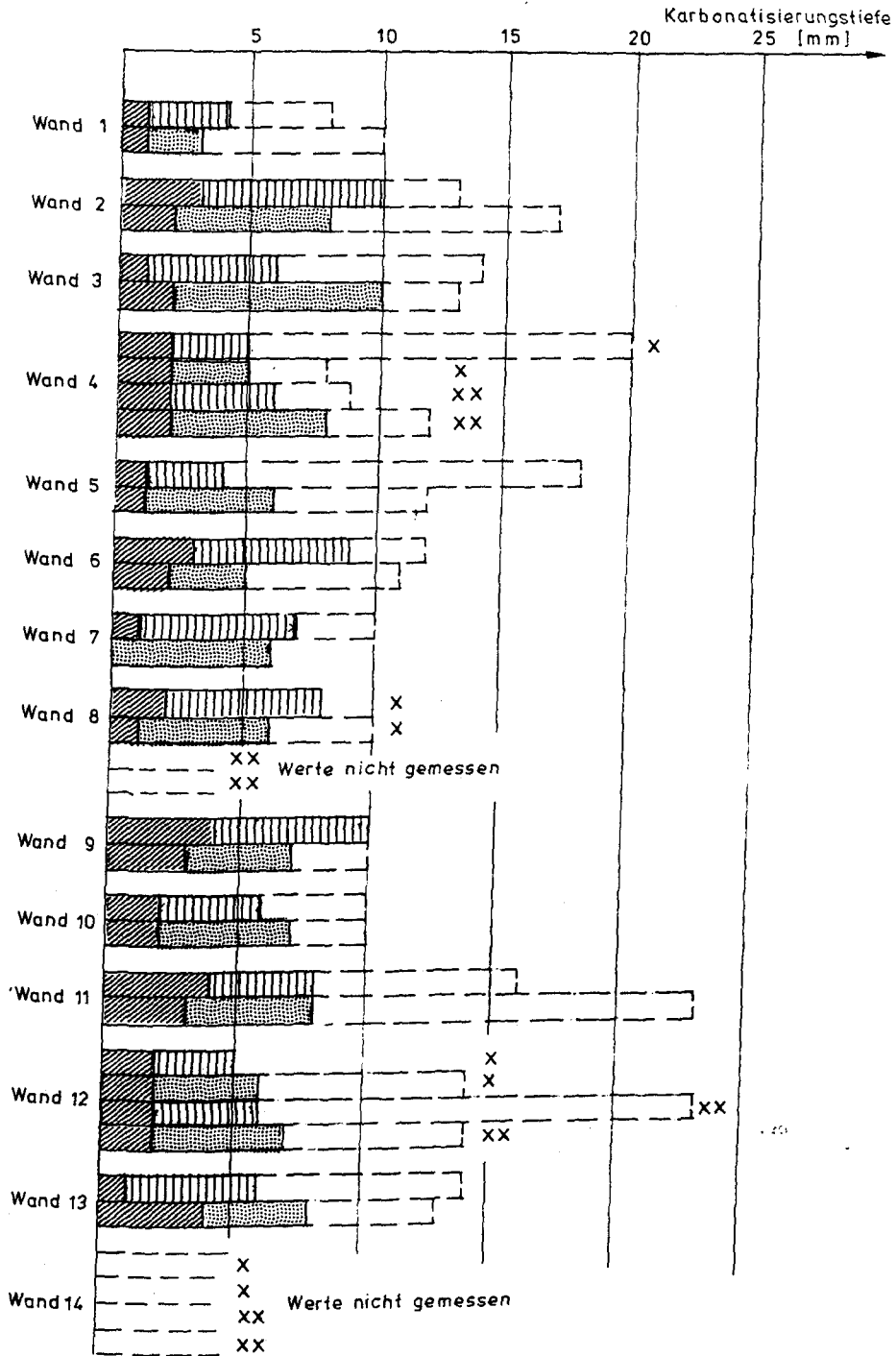
Prinzip der Biegezugprüfung des Betons der Randzonen der Versuchswände.



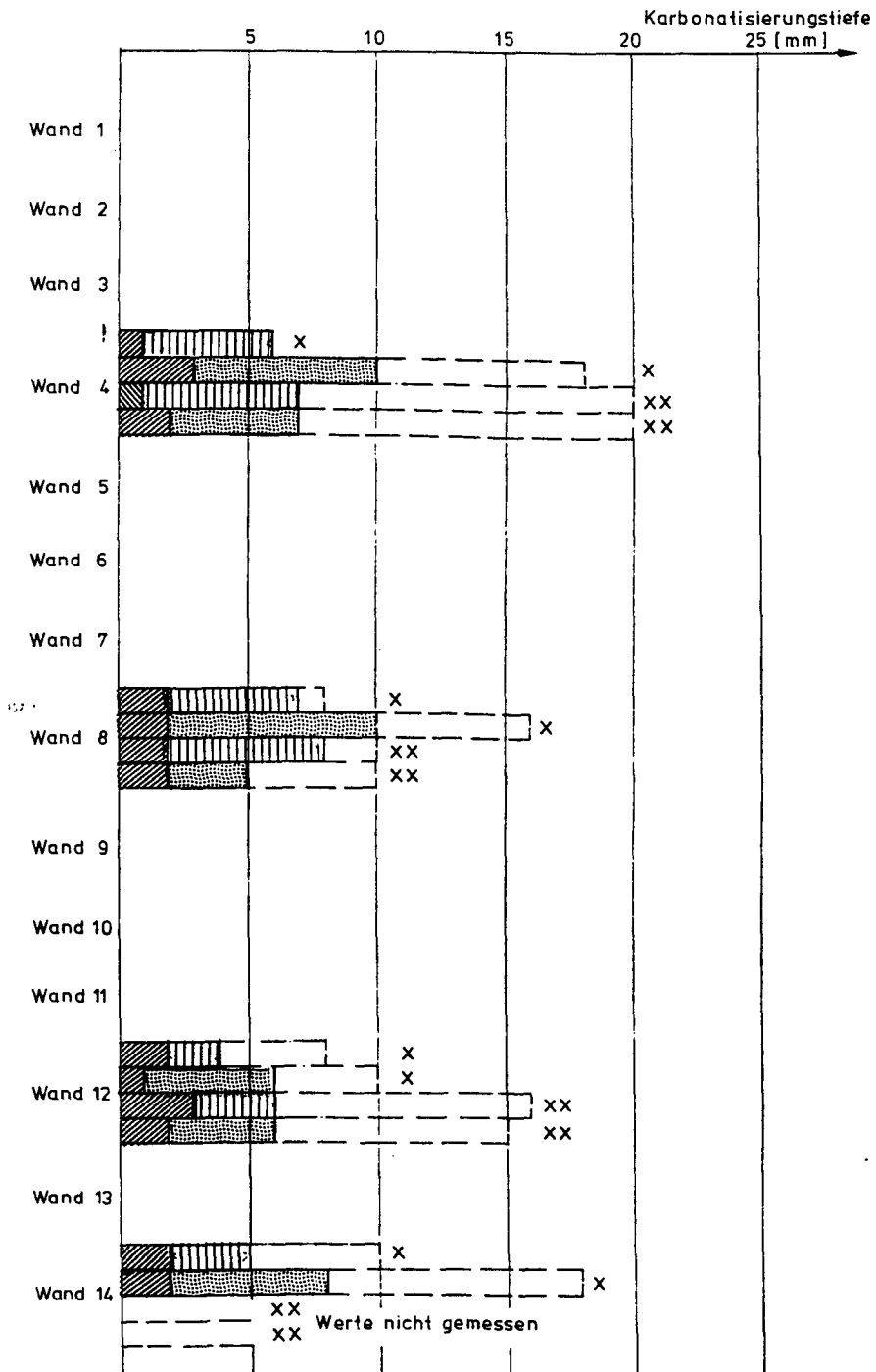
- durchkarbonatisiert
- ▨ Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche nicht abgerieben
- ▤ Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche abgerieben
- [] Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge
- x Betondeckung $c_1 = 2 \text{ cm}$
- xx Betondeckung $c_1 = 3 \text{ cm}$

BILD 39

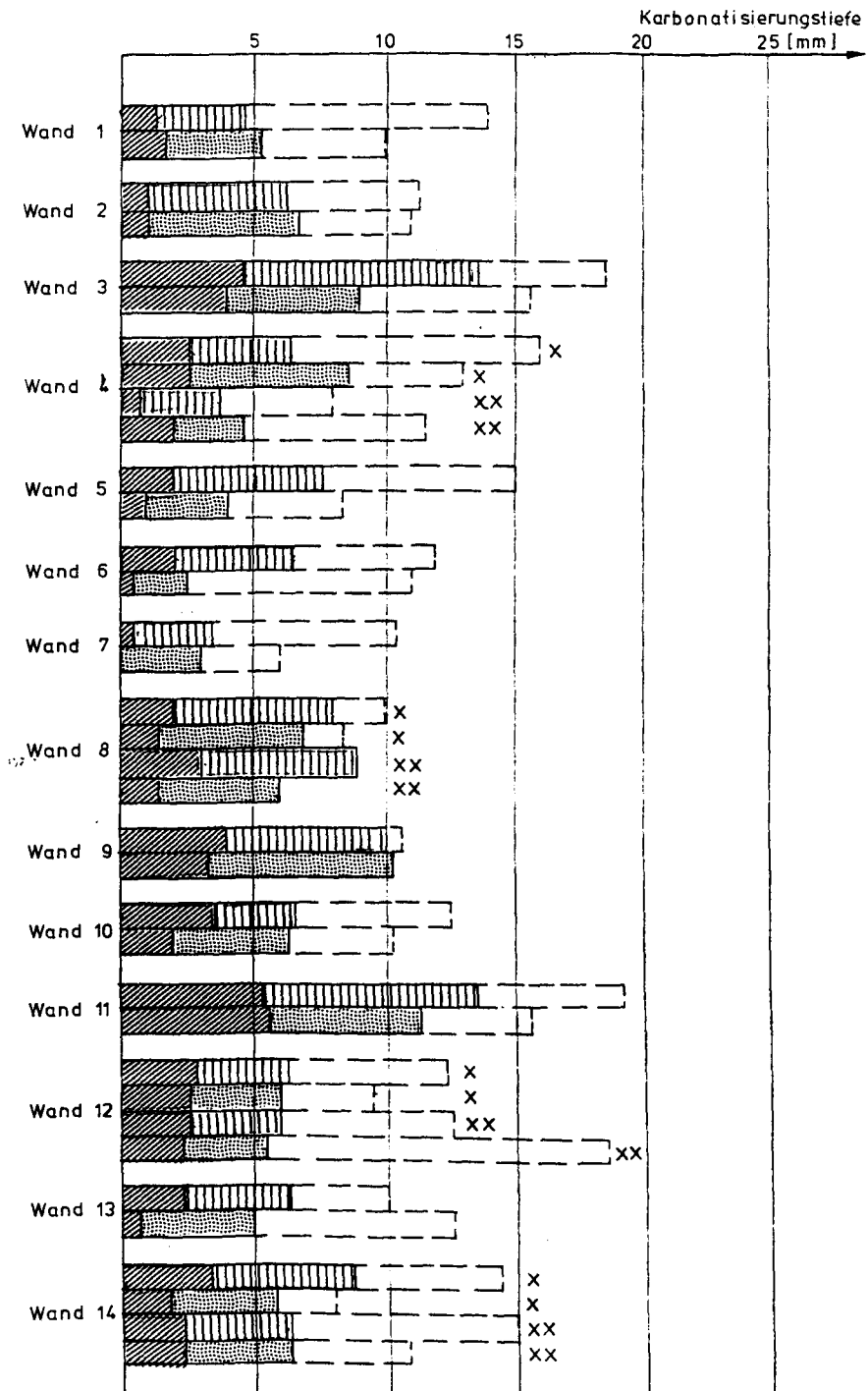
GEMESSENE GRÖSSTE KARBONATISIERUNGSTIEFEN, HOLZSCHALUNG.



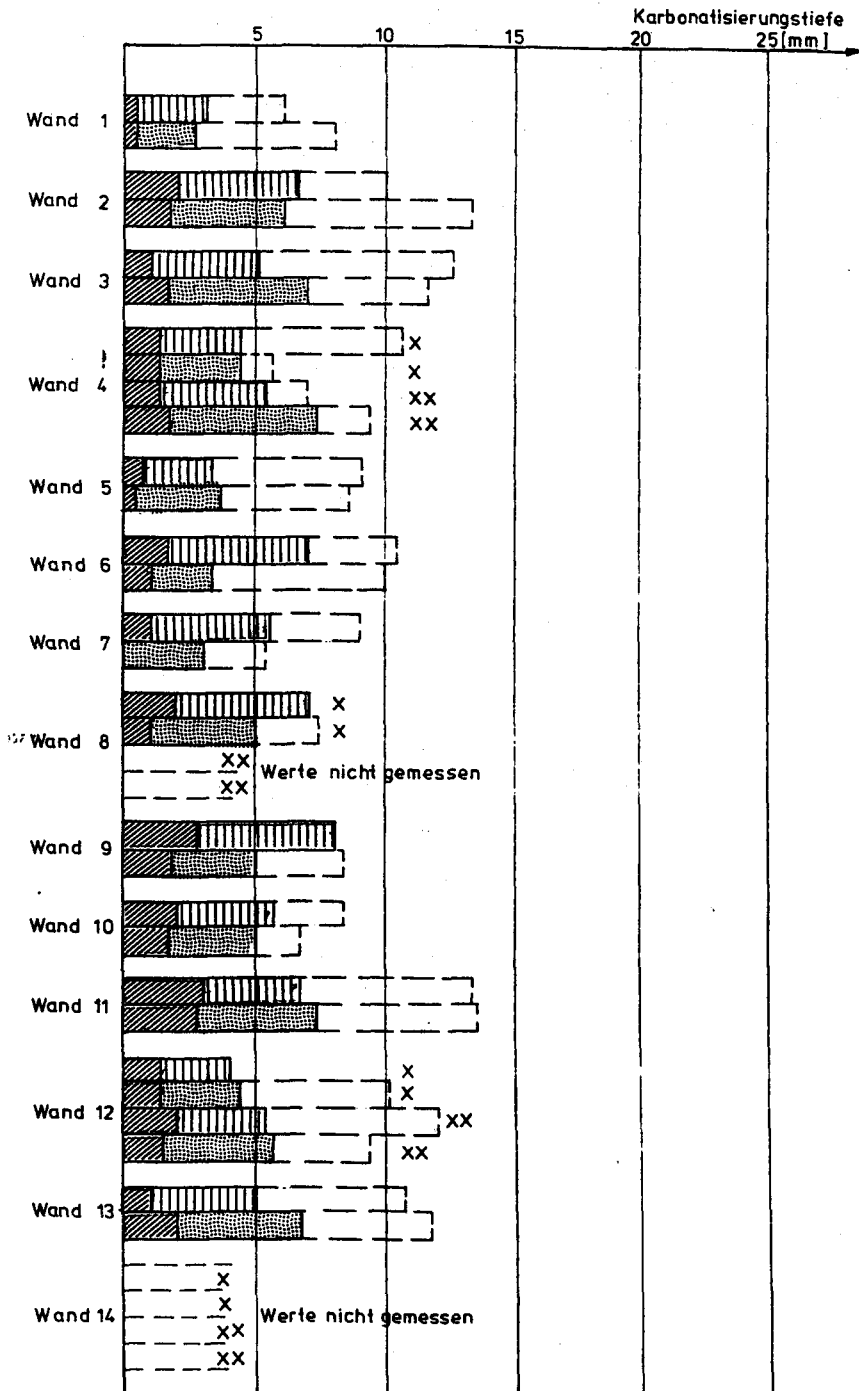
- durchkarbonatisiert
- ▨ Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche nicht abgerieben
- ▤ Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche abgerieben
- [] Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge
- X Betondeckung $c_1 = 2$ cm
- XX Betondeckung $c_1 = 3$ cm



- durchkarbonatisiert
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche nicht abgerieben
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche abgerieben
- Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge
- x Betondeckung $c_1 = 2$ cm
- xx Betondeckung $c_1 = 3$ cm



- durchkarbonatisiert
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche nicht abgerieben
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche abgerieben
- Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge
- x Betondeckung $c_1 = 2$ cm
- xx Betondeckung $c_1 = 3$ cm

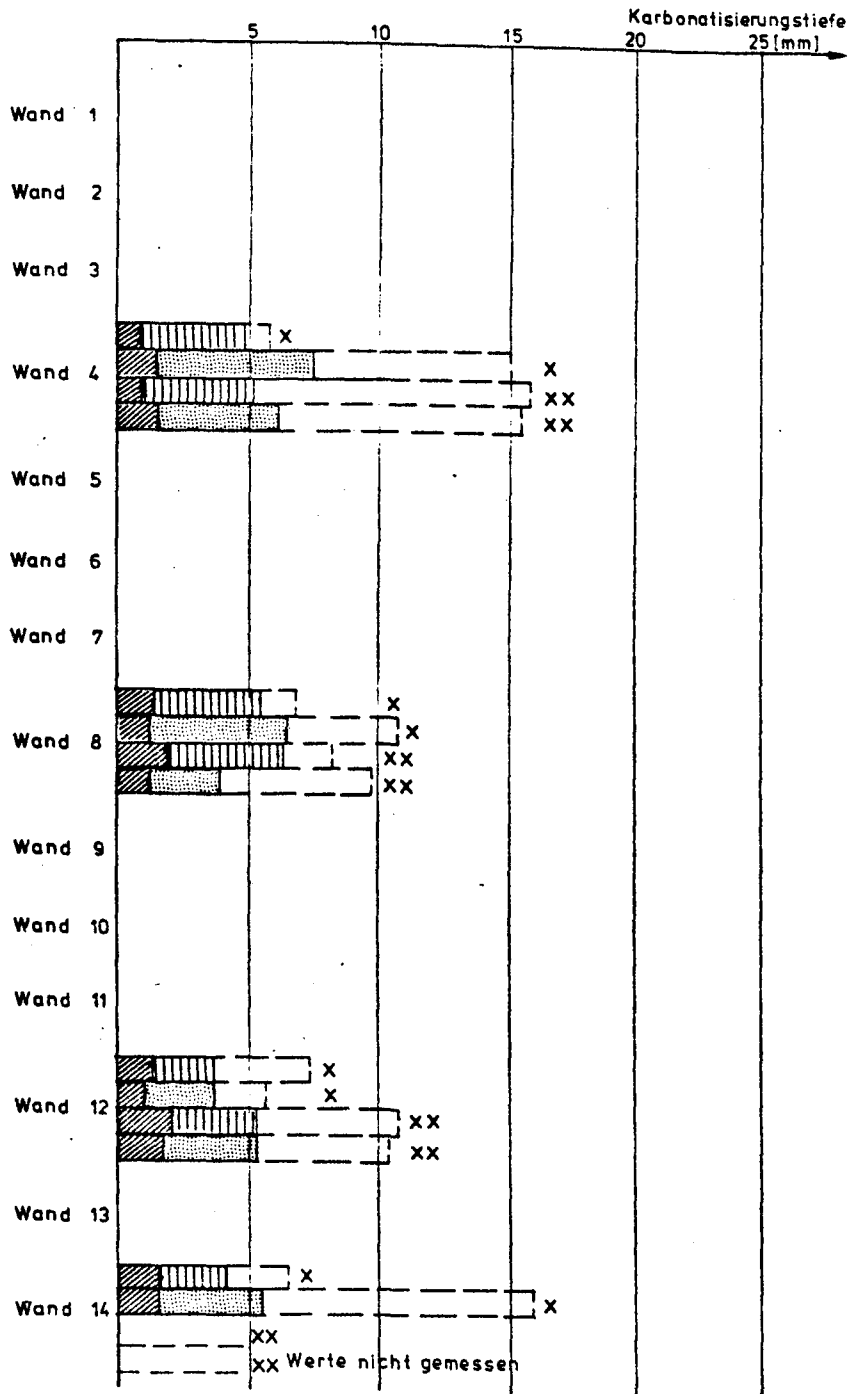


- durchkarbonatisiert
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche nicht abgerieben
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche abgerieben
- Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge
- x Betondeckung $c_1 = 2$ cm
- xx Betondeckung $c_1 = 3$ cm

Bild. 43

MITTELWERTE DER GEMESSENEN KARBONATISIERUNGSTIEFE, SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE.

A 60

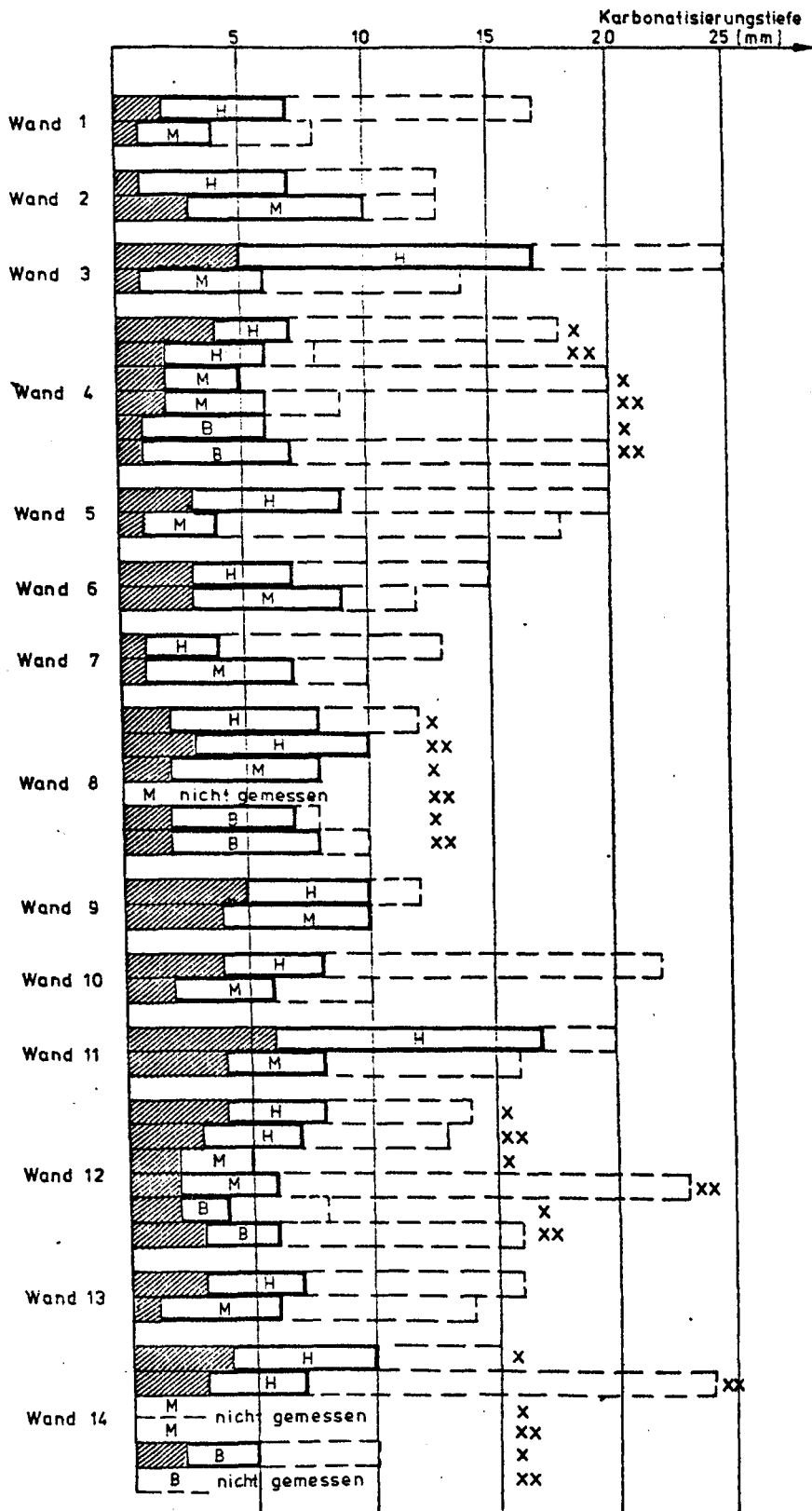





- durchkarbonatisiert
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche nicht abgerieben
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen, Betonoberfläche abgerieben
- Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge
- x Betondeckung $c_1 = 2$ cm
- xx Betondeckung $c_1 = 3$ cm

BILD 44

MITTELWERTE DER GEMESSENEN KARBONATISIERUNGSTIEFE, SCHALUNG STAHLBLECH.

A 51



-  durchkarbonatisiert
-  Bereich der Karbonatisierungsspitzen
-  Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge

- H Schalung Holz
M Schalung Mehrschichtenplatte
B Schalung Stahlblech
X Betondeckung $c_1 = 2 \text{ cm}$
XX Betondeckung $c_1 = 3 \text{ cm}$

BILD 45

GEMESSENE GRÖSSTE KARBONATISIERUNGSTIEFEN. NACH SCHALUNGSARTEN GEORDNET.

BETON OBERFLÄCHE NICHT ABZUGEBEN <http://www.bau-nu-bs.de/?docid=00055896>

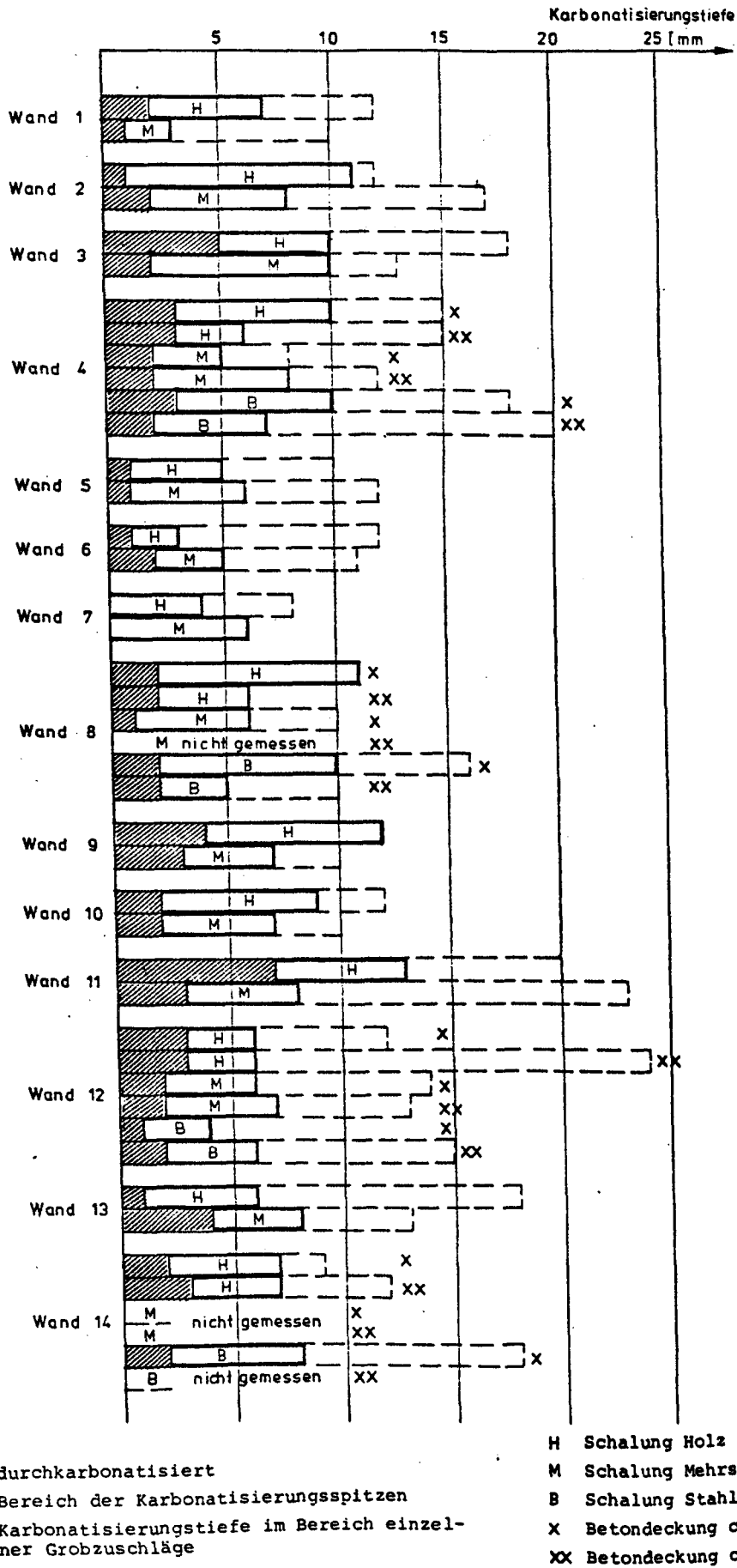
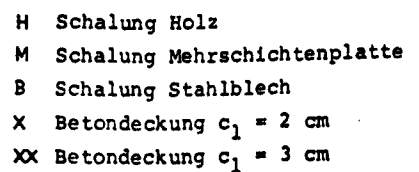
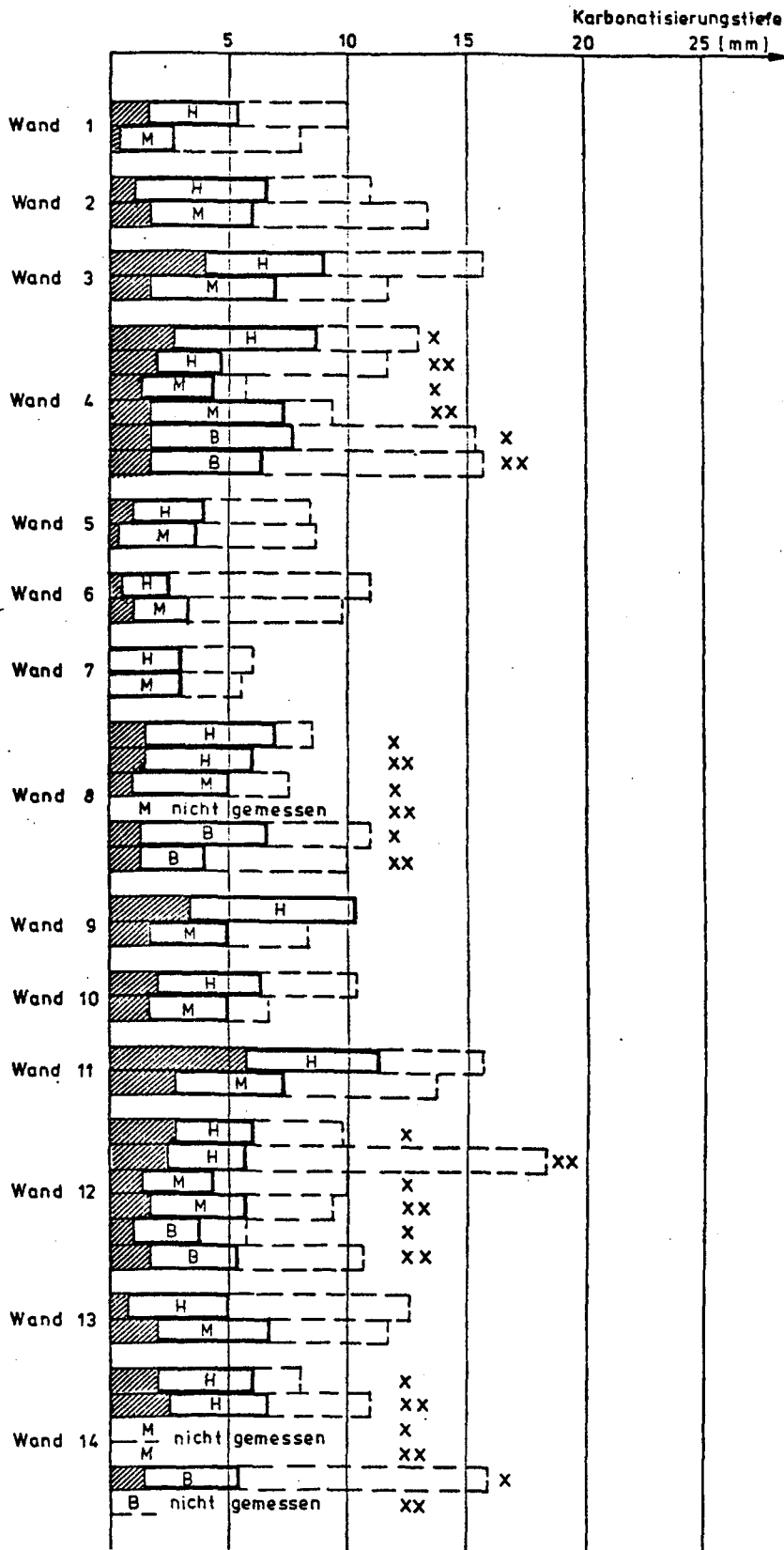


BILD 45

GEMESSENE GRÖSSTE KARBONATISIERUNGSTIEFEN, NACH SCHALUNGSARTEN GEORDNET.
 BETONoberfläche ABGEBIEN.



MITTELWERTE DER GEMESSENEN KARBONATISIERUNGSTIEFE, NACH SCHALUNGSARTEN GEORDNET.
BETONOBERFLÄCHE NICHT ABGERIEBEN.



- durchkarbonatisiert
- Bereich der Karbonatisierungsspitzen
- Karbonatisierungstiefe im Bereich einzelner Grobzuschläge

- H Schalung Holz
- M Schalung Mehrschichtenplatte
- B Schalung Stahlblech
- x Betondeckung $c_1 = 2$ cm
- xx Betondeckung $c_1 = 3$ cm

BILD 43

MITTELWERTE DER GEMESSENEN KARBONATISIERUNGSTIEFE, NACH SCHALUNGSARTEN GEORDNET, BETONOBERFLÄCHE ABGEBIENEN.

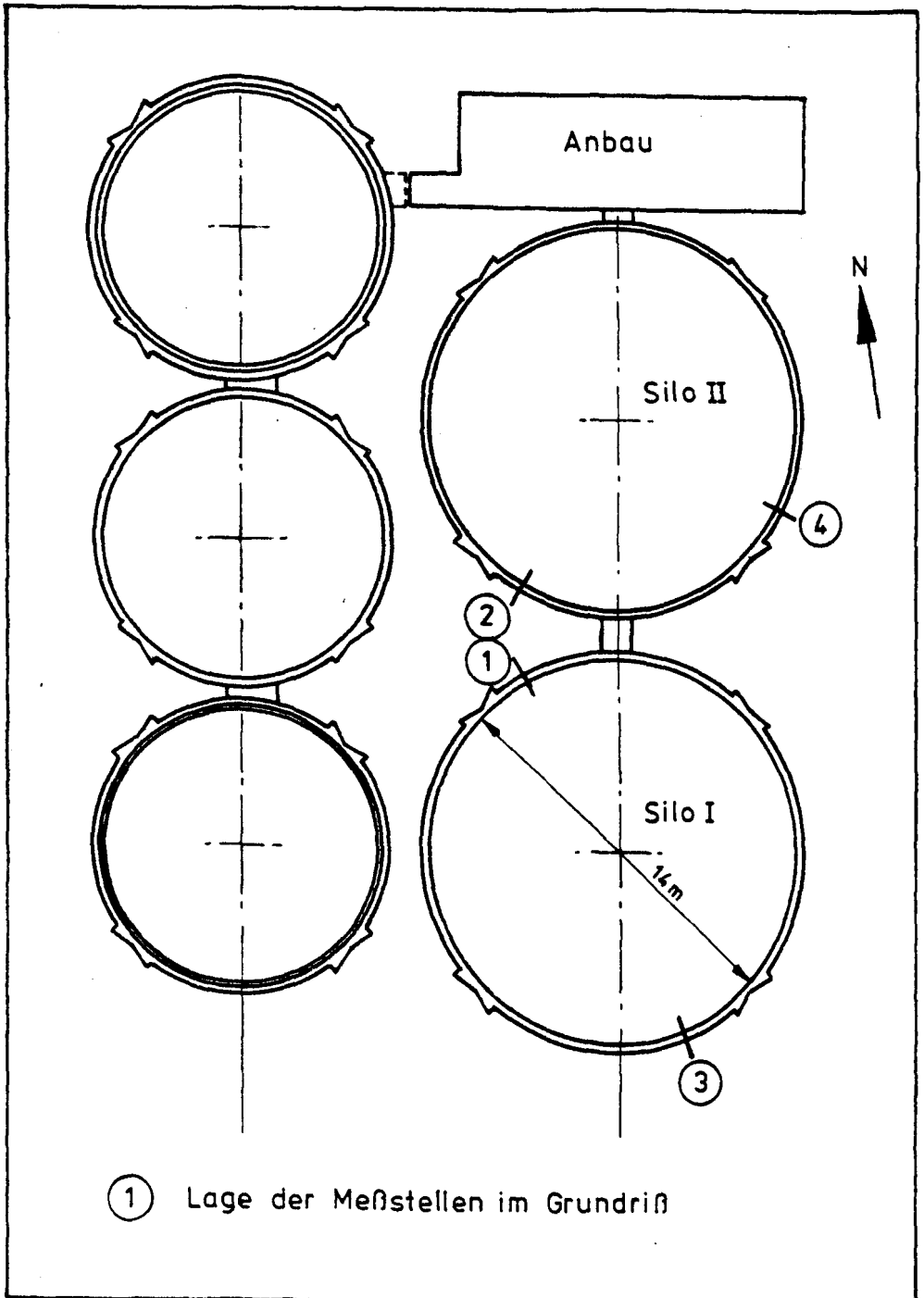


Bild 49

Bezeichnung und Lage der Meßstellen zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe der vorh. Silos.

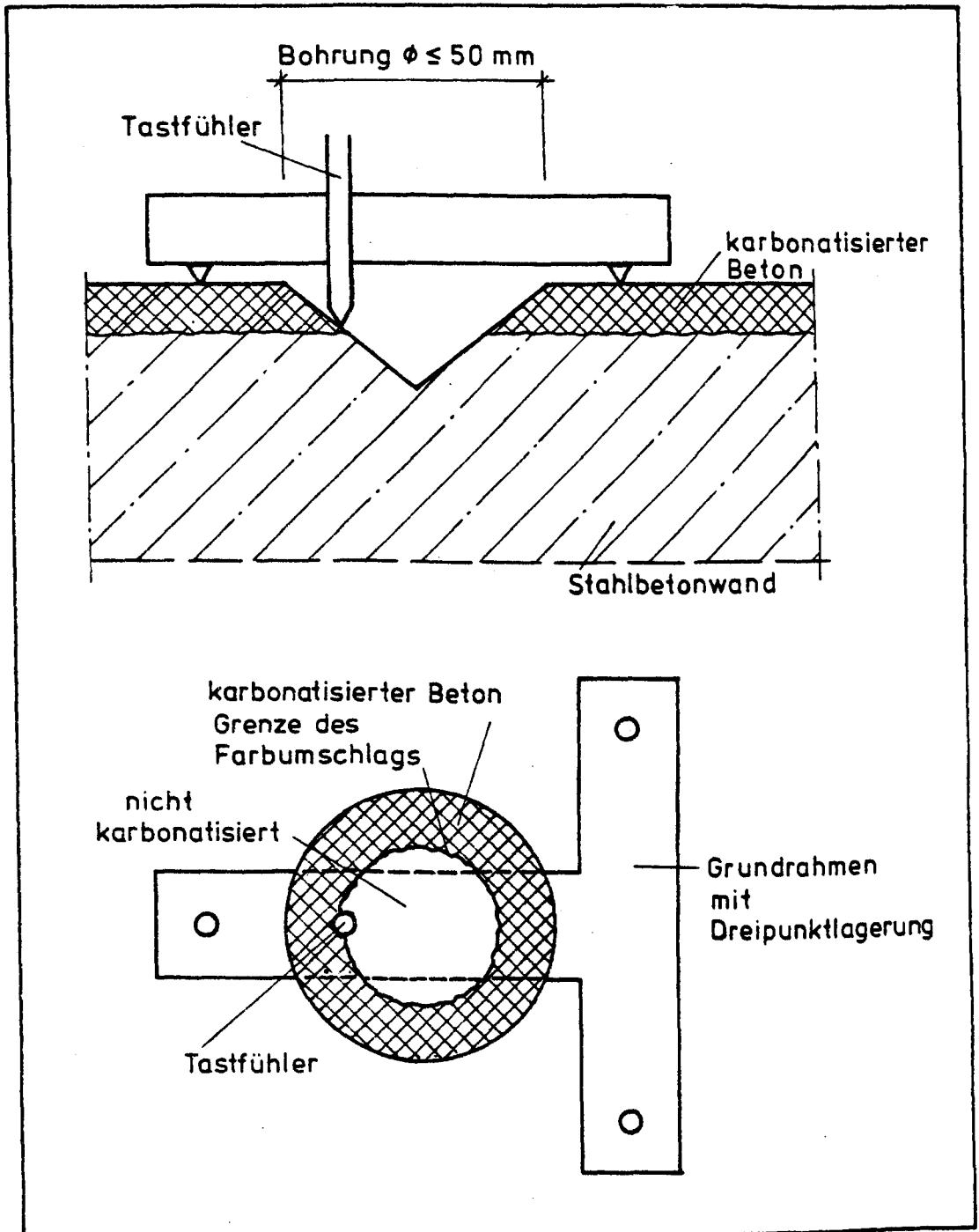


Bild 50

Prinzip der Meßeinrichtung zur Feststellung der
Karbonatisierungstiefe an den vorh. Silos.

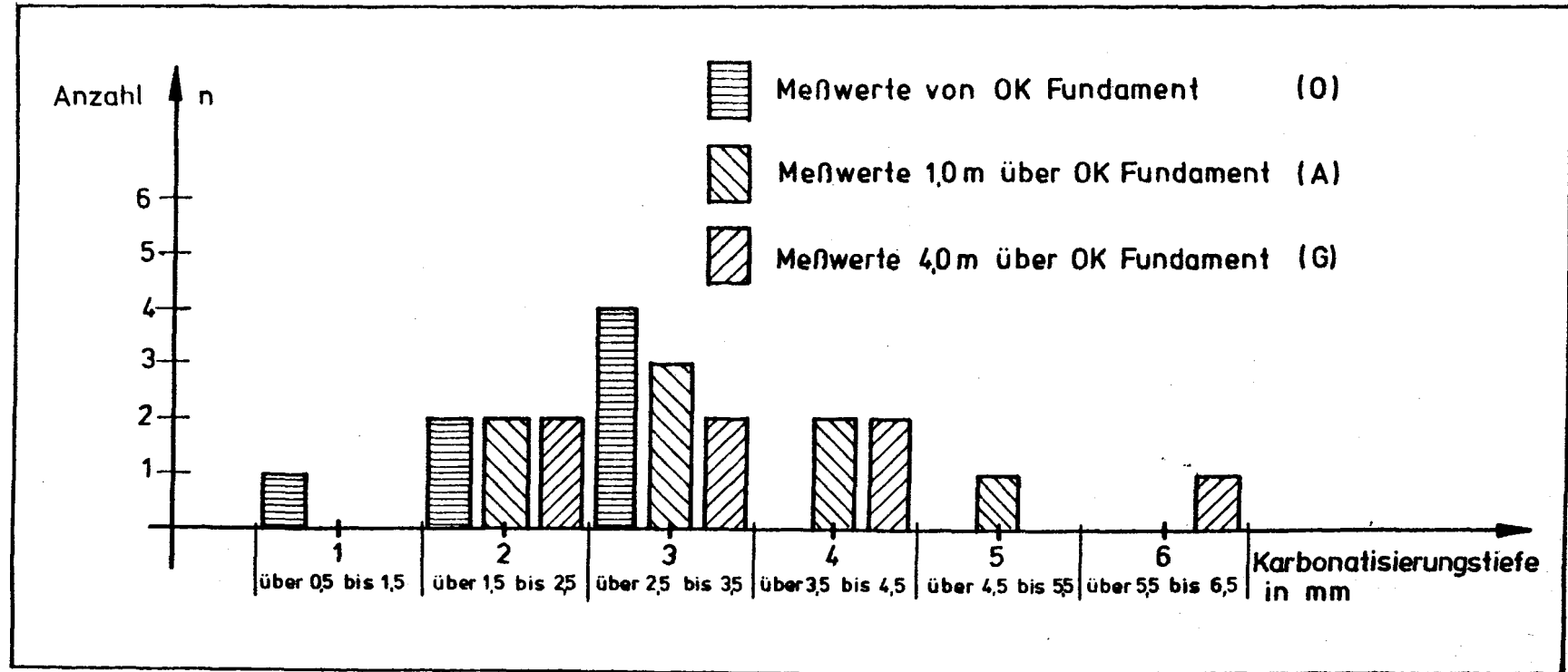
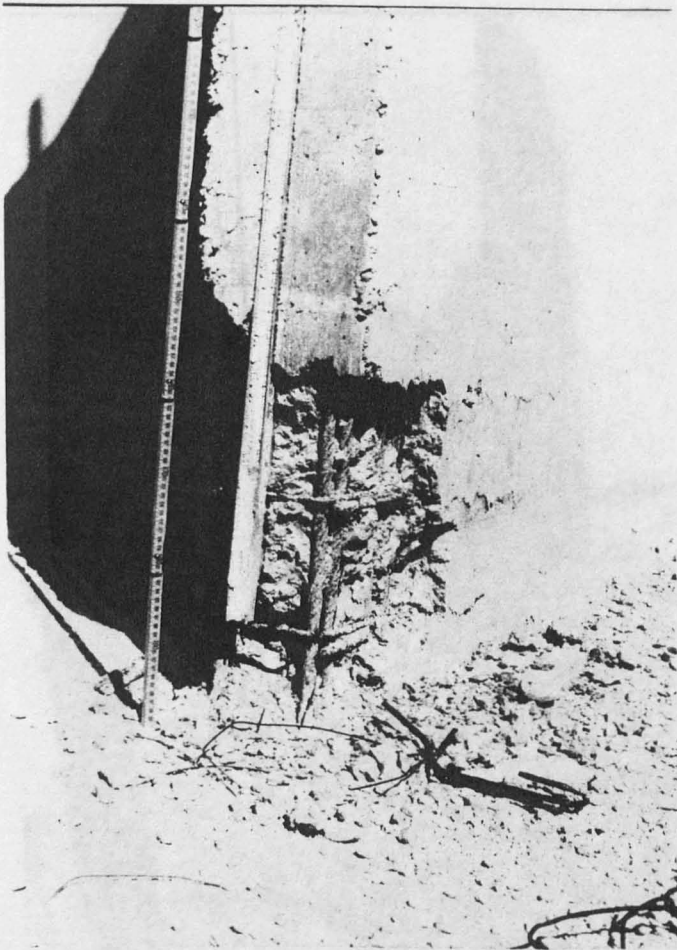
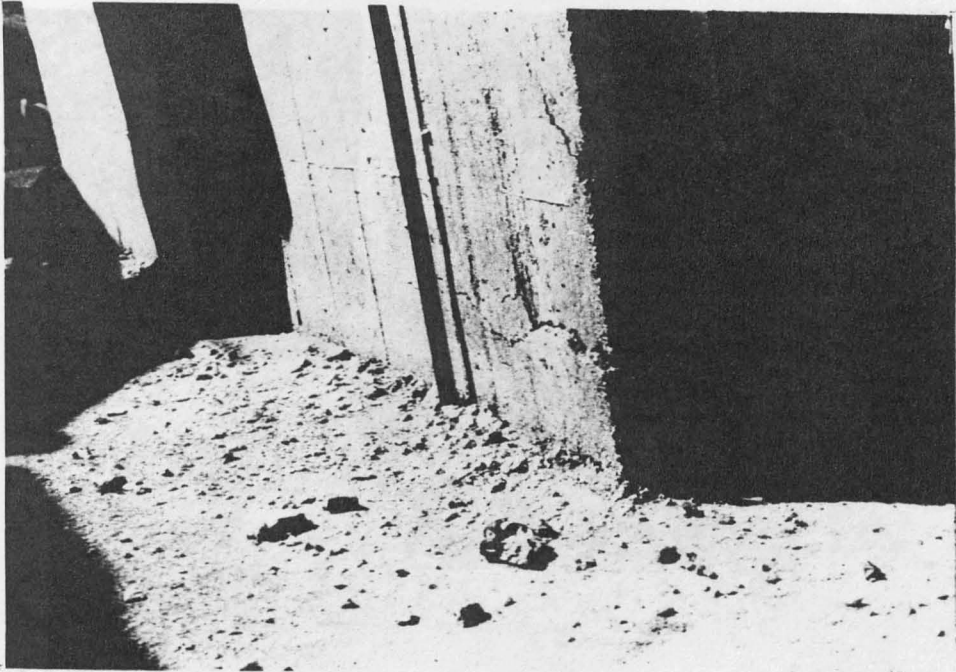


Bild 51

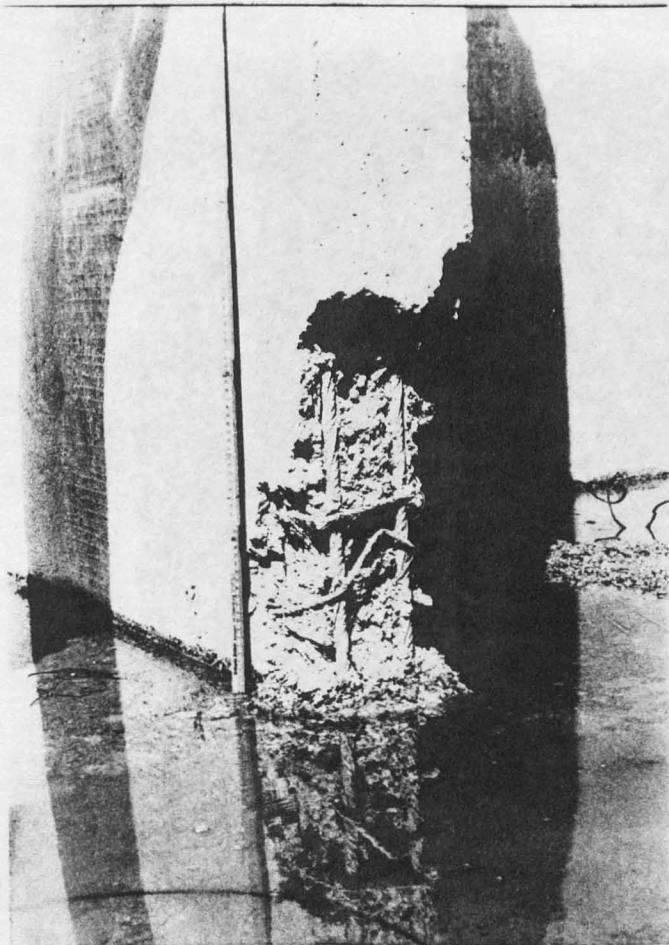
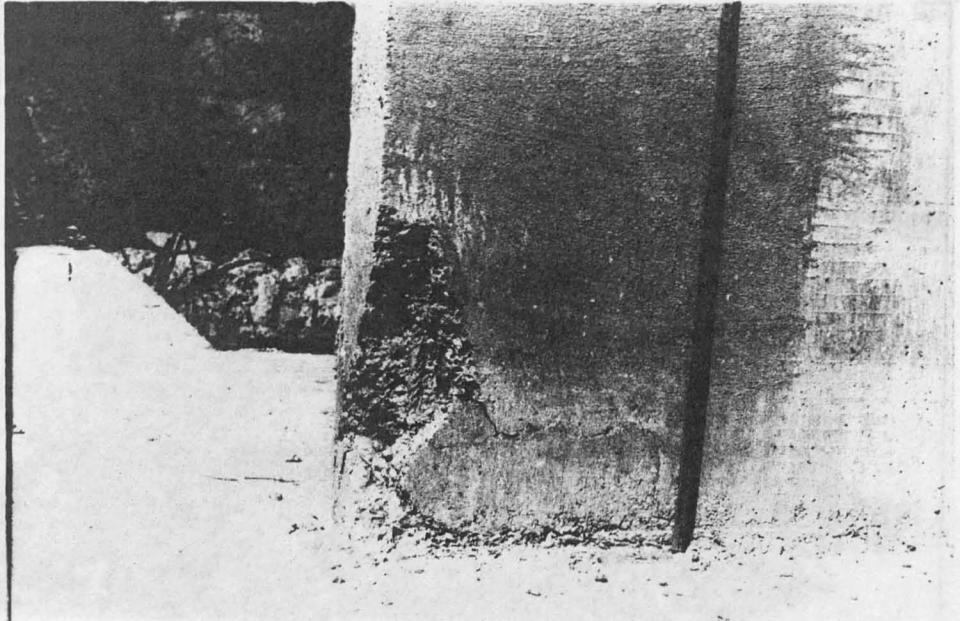
Gemessene Karbonatisierungstiefe an den vorhandenen Silos.

Häufigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Lage der Meßstellen.



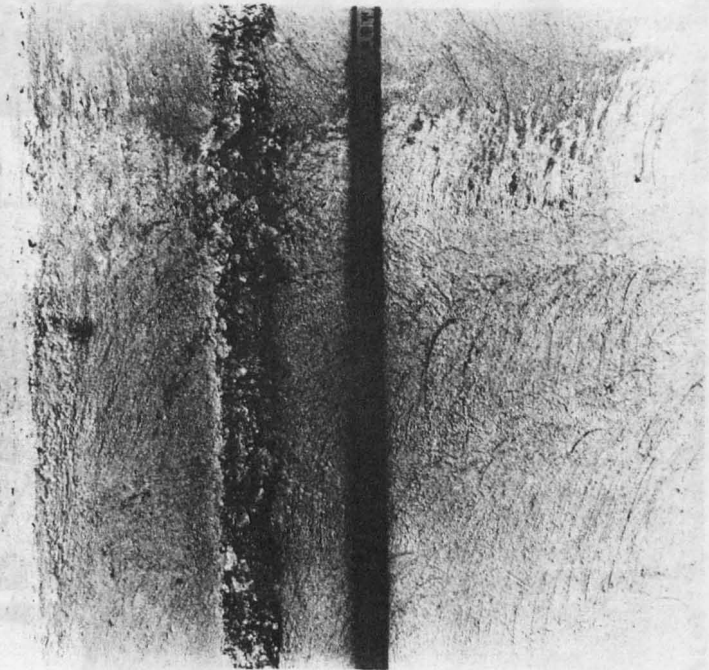
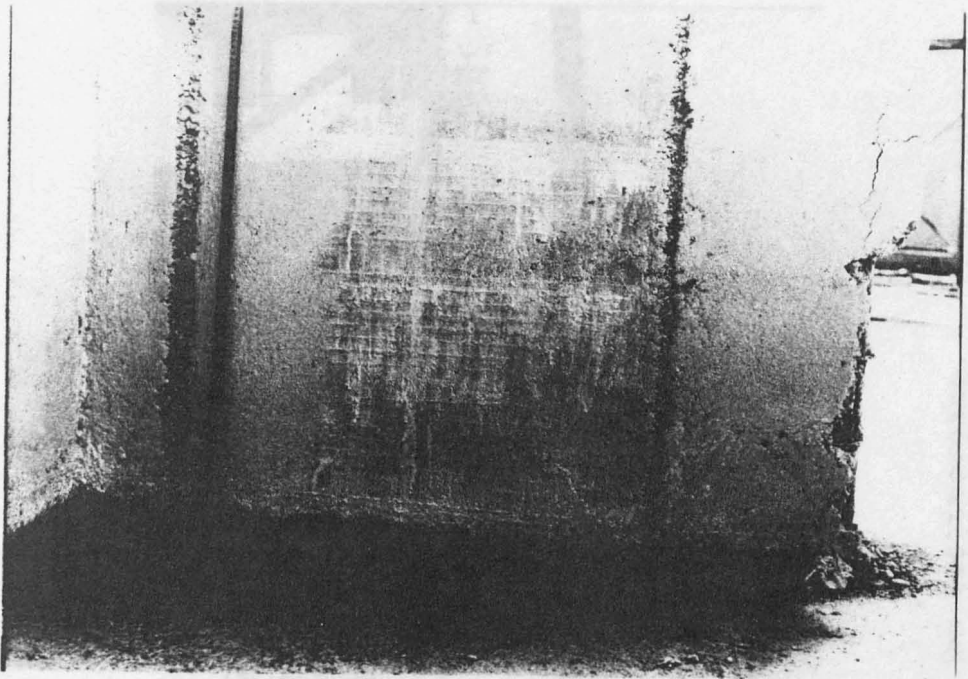
Fotos 1 und 2

Schäden infolge Mitziehens der Stirnabschalung
(hier Versuchswände Nr. 1 und Nr. 7).



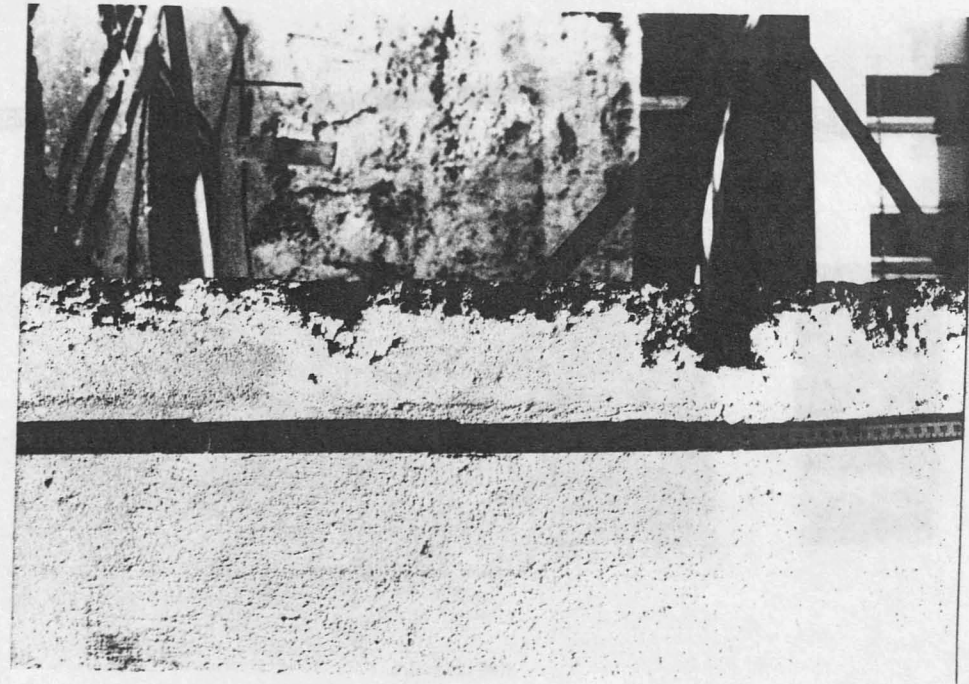
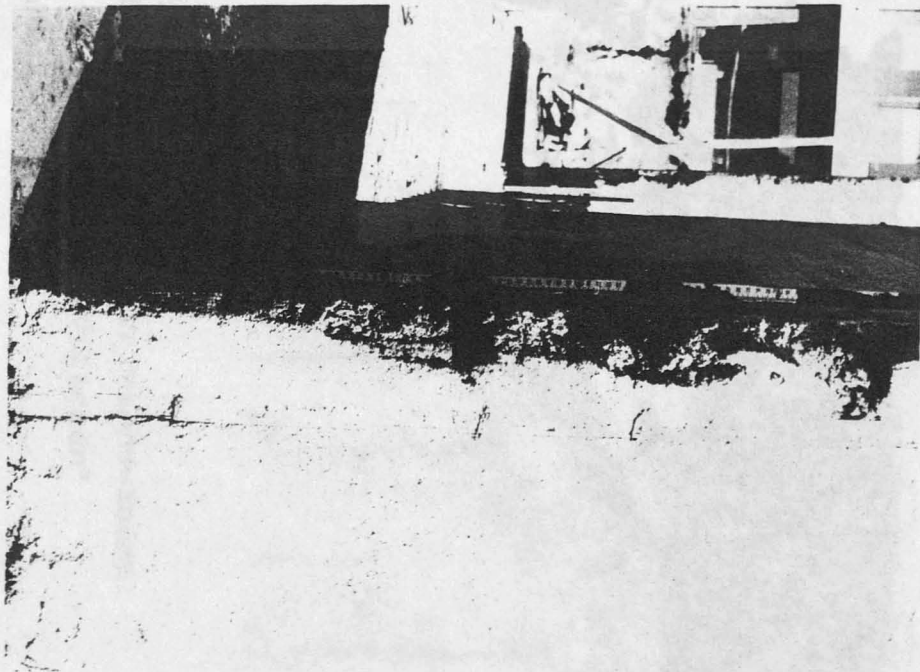
Fotos 3 und 4

Schäden infolge Mitziehens der Stirnabschalung
(hier Versuchswände Nr. 8 und Nr. 4).



Fotos 5 und 6

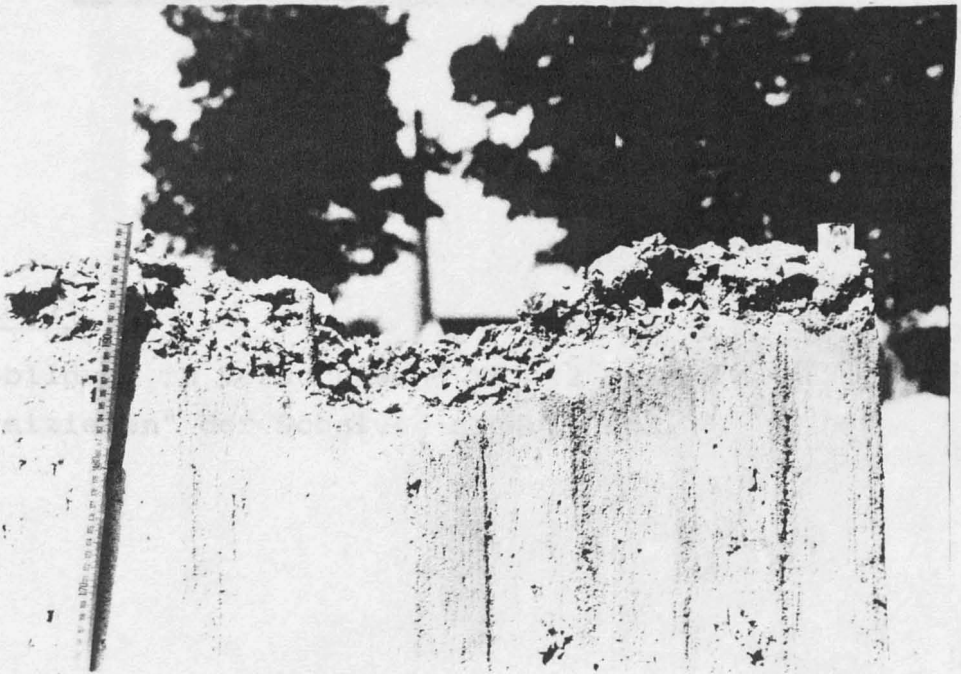
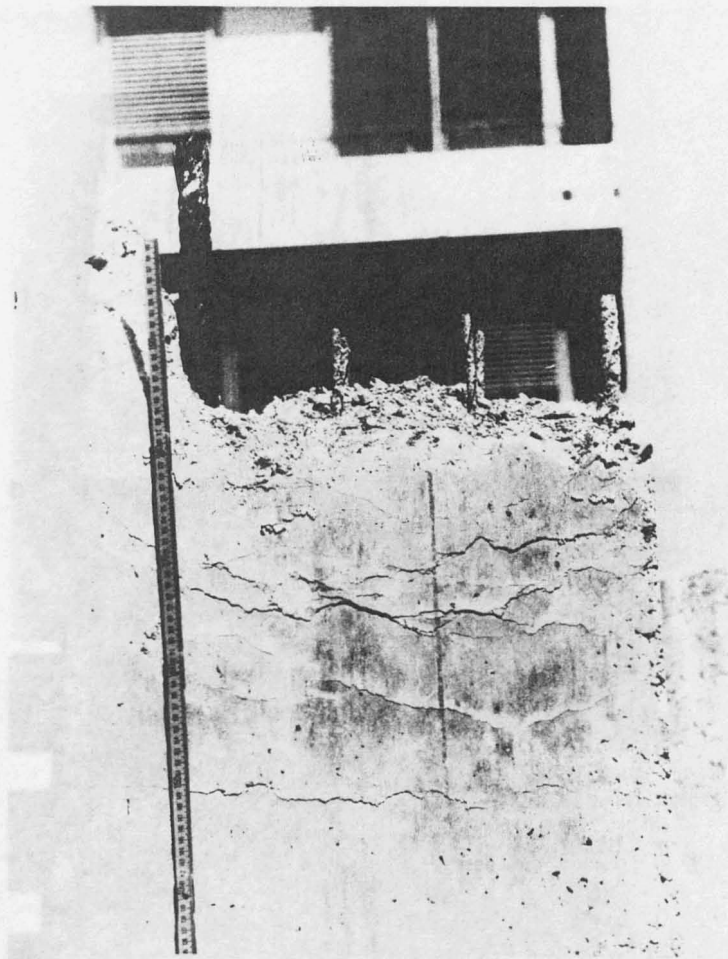
Schäden der Wandoberfläche der Versuchswand
Nr. 12, hervorgerufen durch am unteren Rand
verbogene Stahlschalung.



A71

Fotos 7 und 8

Schäden an Wandecken (hier Versuchswände Nr. 14 und Nr. 10) durch den Gleitvorgang.



Fotos 9 und 10

Betonschäden (hier an den Versuchswänden
Nr. 4 und Nr. 1) durch "Freiziehen"
der Schalung.

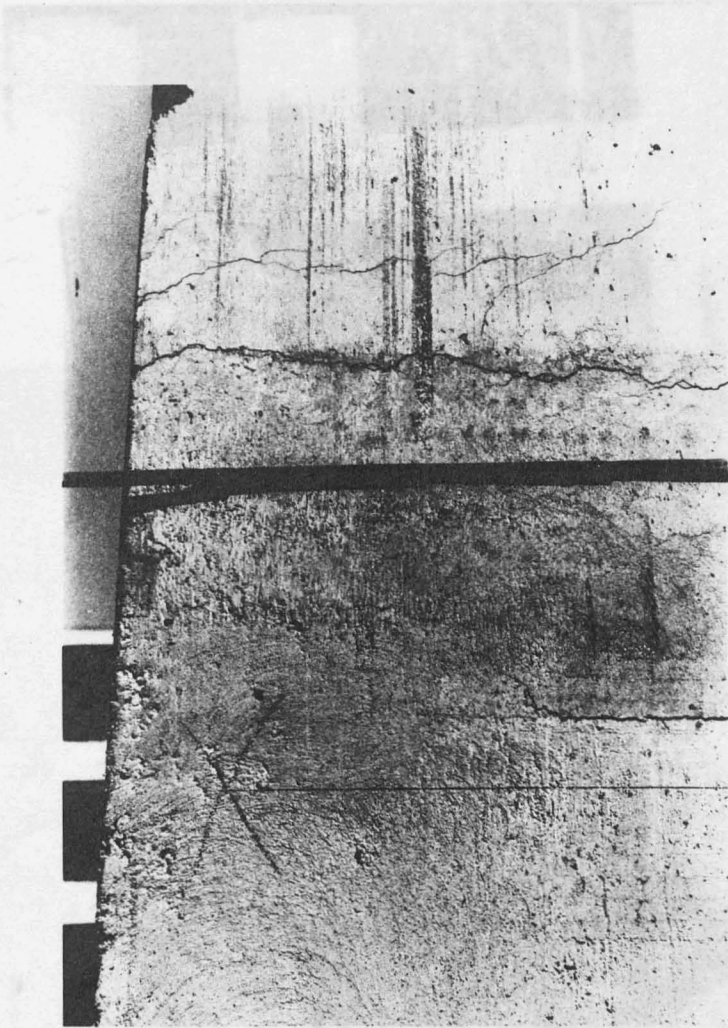


Foto 11

Rißbildung in Versuchswand Nr. 12 durch
"Freiziehen" der Schalung nach 12 Std.

Fotos 12 und 13

Oberer Wandende (hier Versuchswand Nr. 12 und
Nr. 13) bei folgender Stützlast

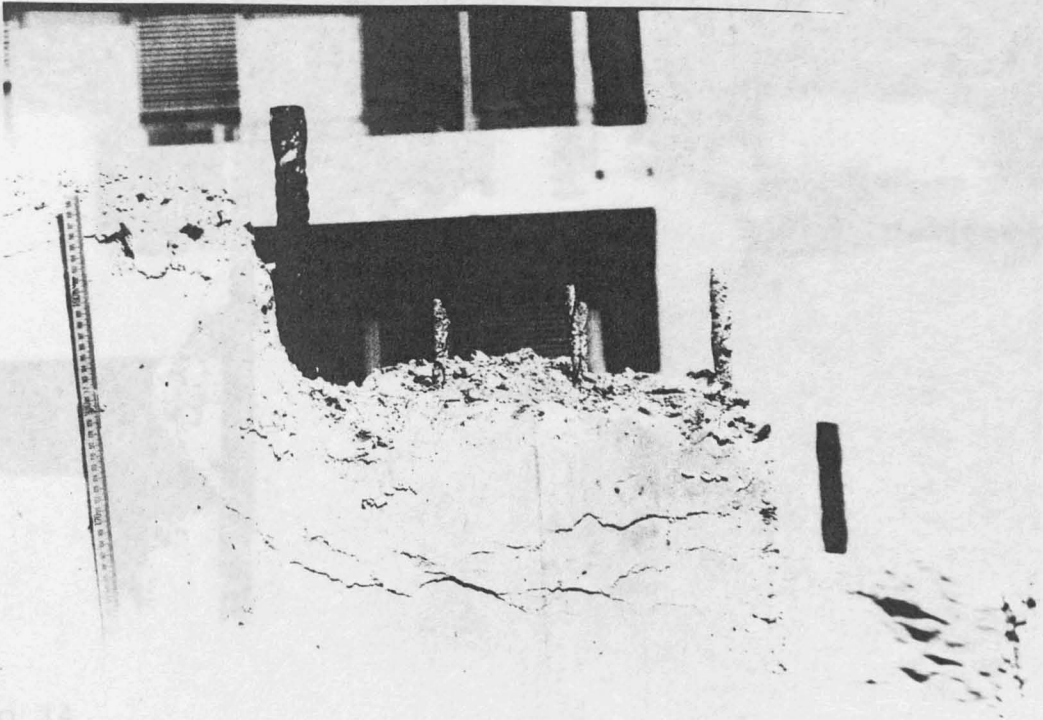
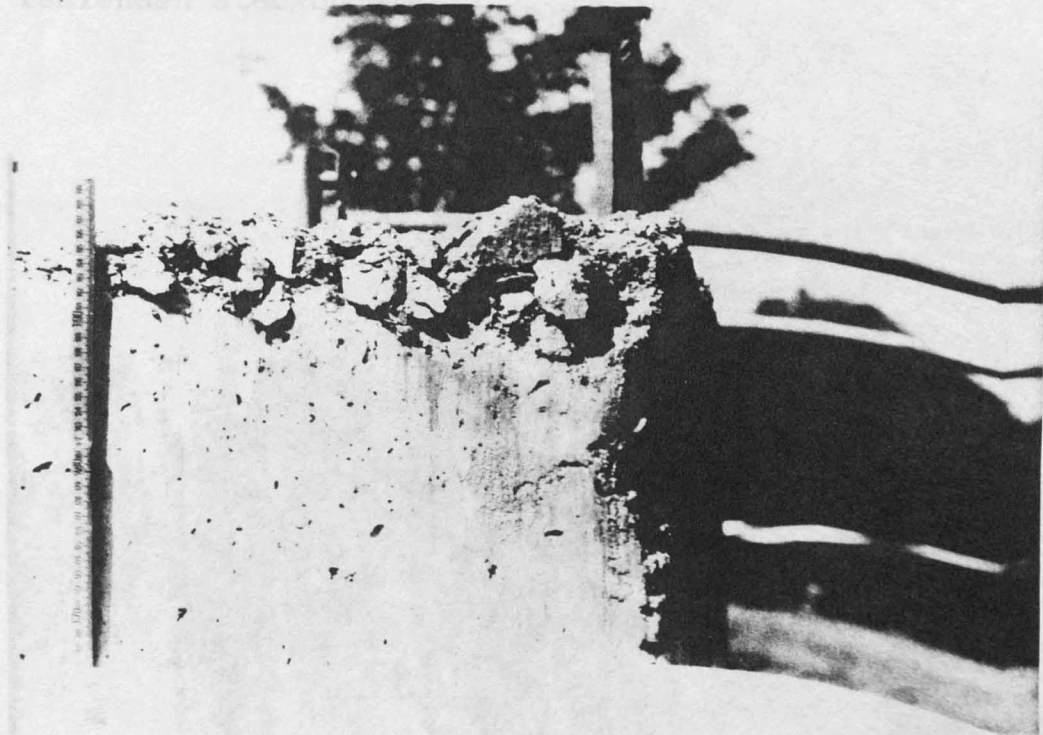


Foto 14

Oberes Wandende (hier Versuchs-
bei fehlenden Steckbügeln



Fotos 12 und 13

Oberes Wandende (hier Versuchswände Nr. 4 und
Nr. 7) bei fehlenden Steckbügeln.

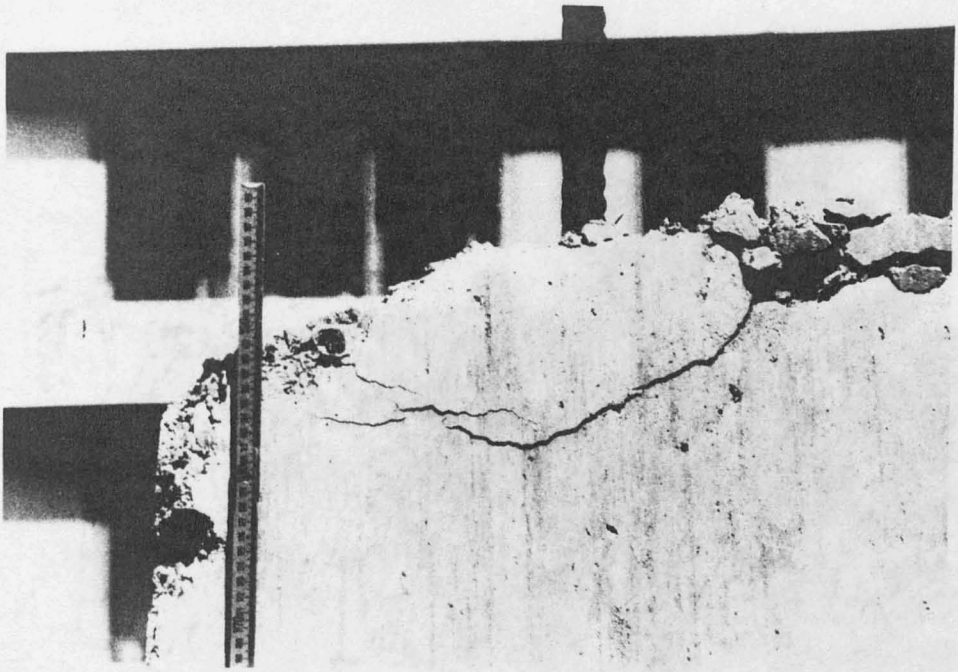


Foto 14

Oberes Wandende (hier Versuchswand Nr. 12)
bei fehlenden Steckbügeln.

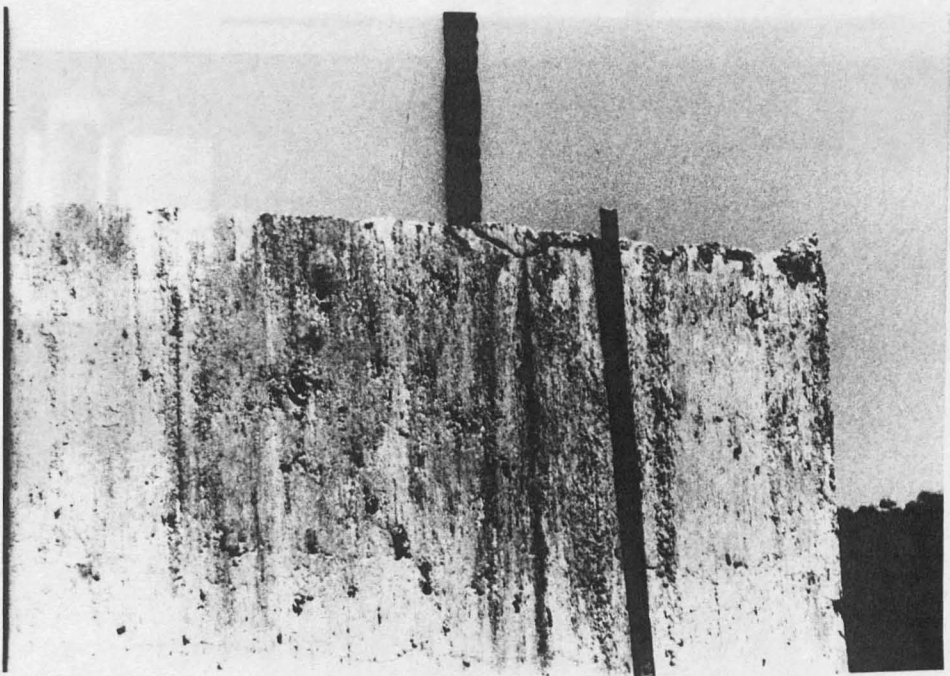
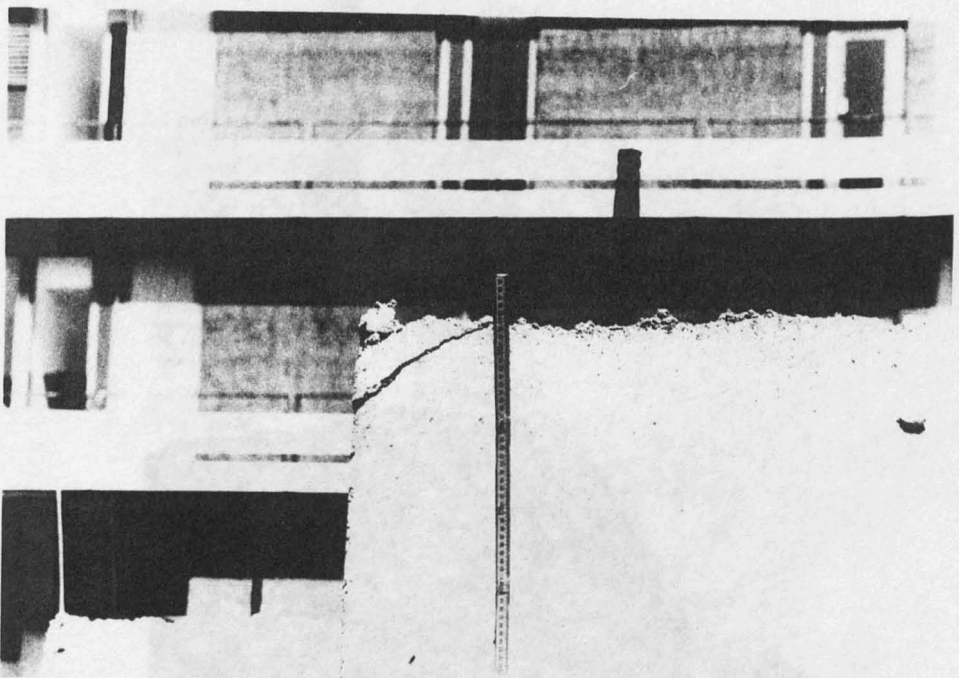
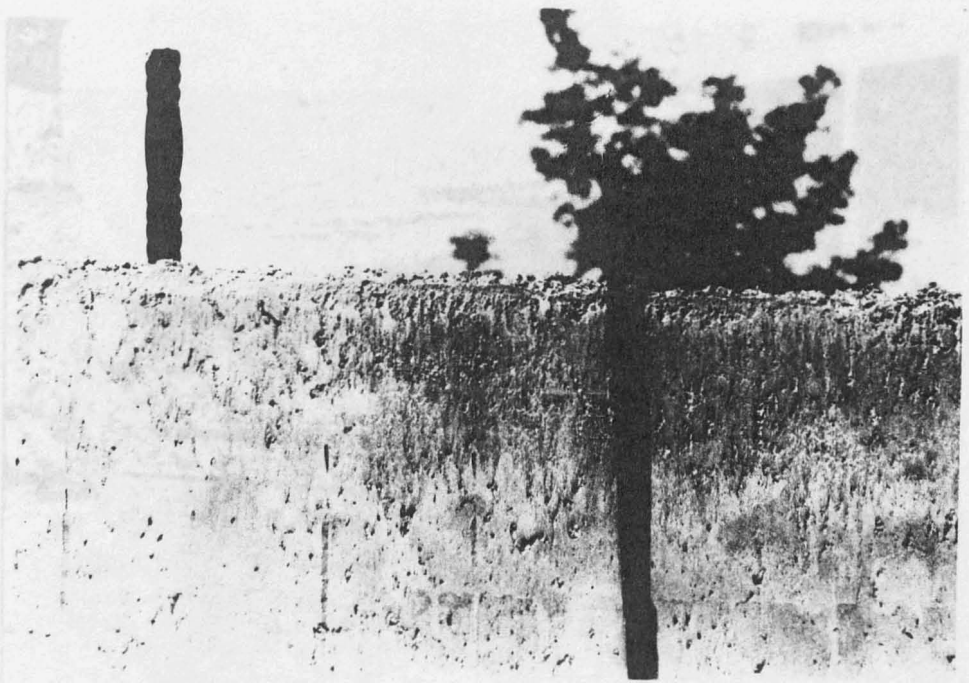


Foto 15

Oberes Wandende (hier Versuchswand Nr. 14)
bei Anordnung von Steckbügeln in engem Abstand.



Fotos 16 und 17

Oberes Wandende (hier Versuchswände Nr. 8 und Nr. 9) bei Anordnung von Steckbügeln in engem Abstand.

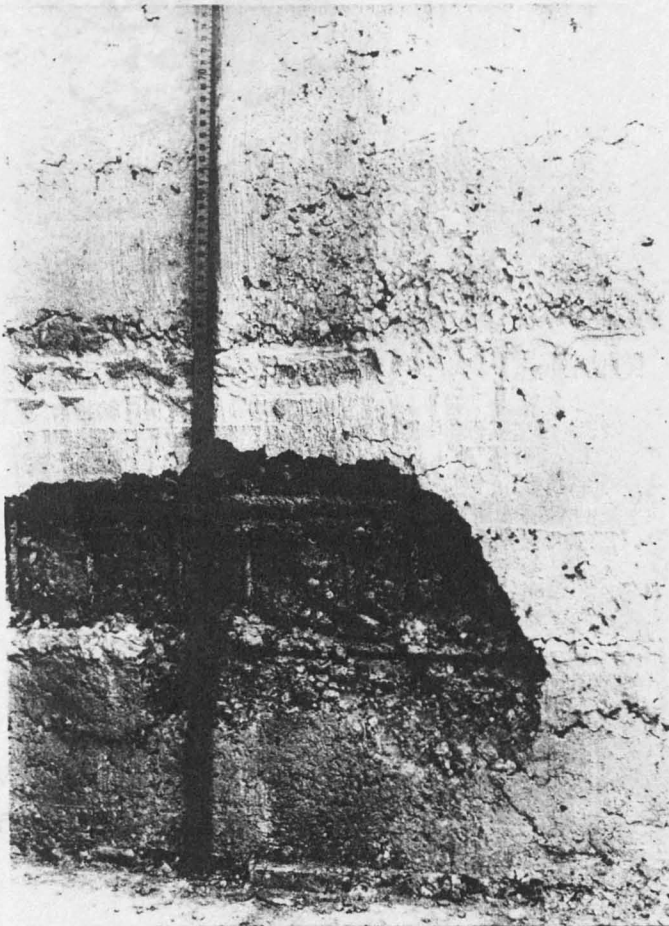
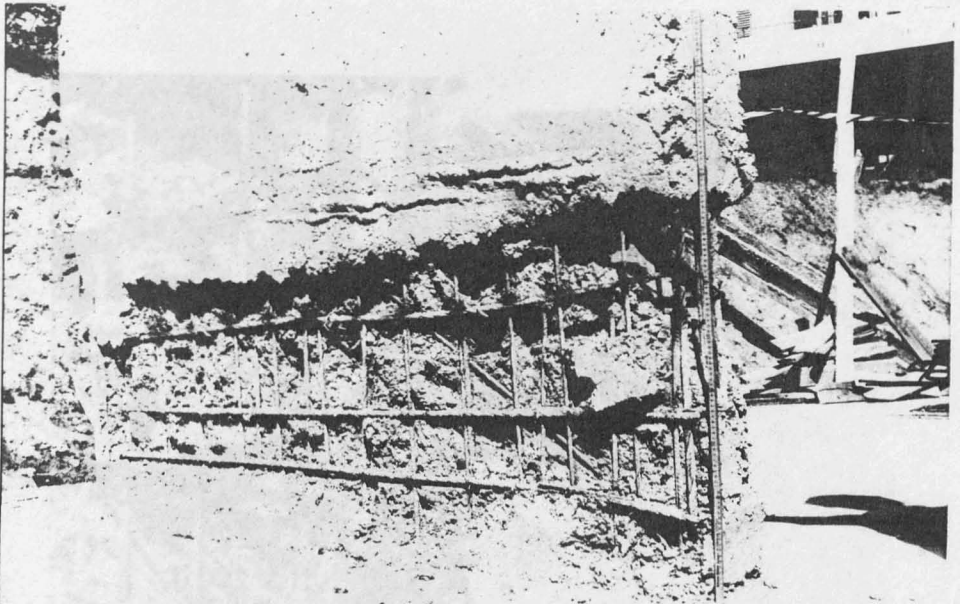


Foto 23
Schäden an
Reibungs...

Fotos 18 und 19

Schäden an Versuchswand Nr. 11 durch hohe
Reibungskräfte zwischen Beton und Schalung.

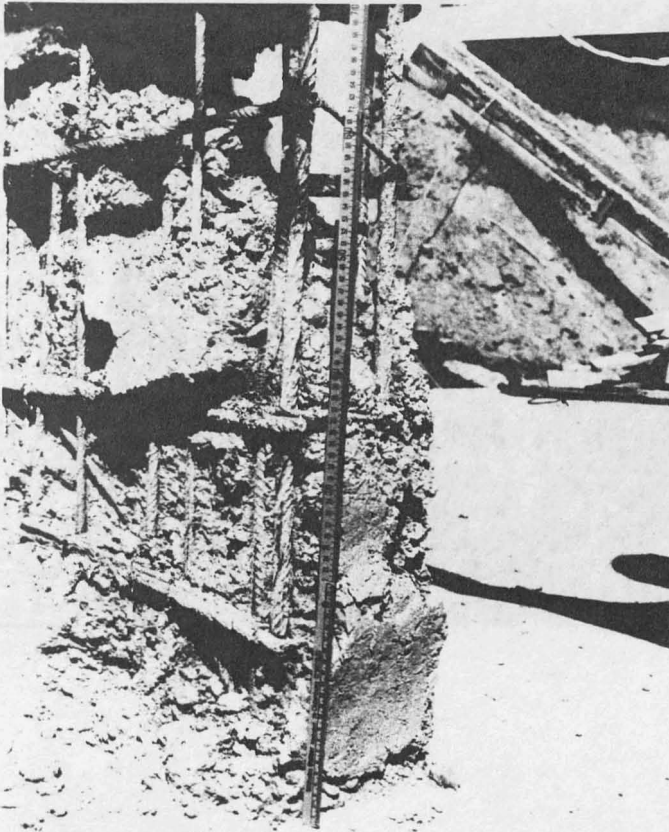
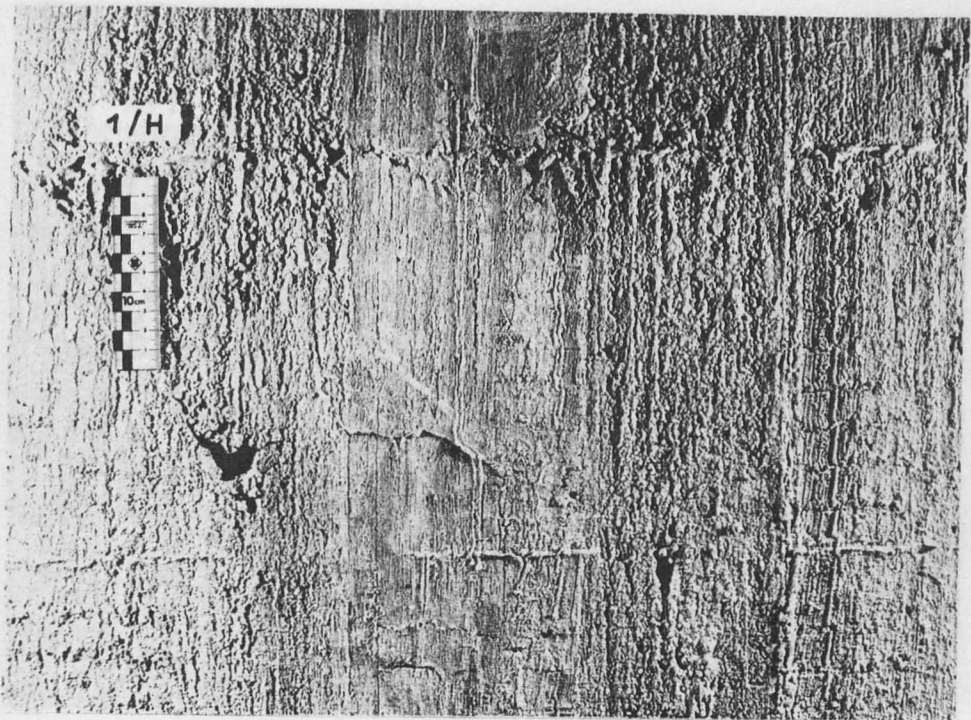
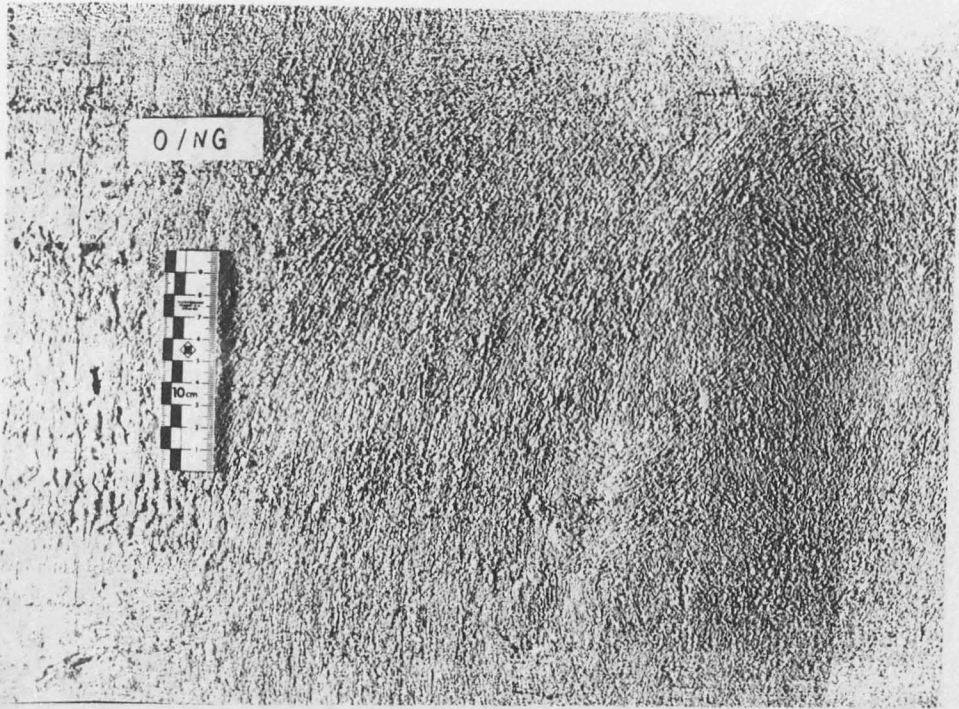


Foto 20

Schäden an Versuchswand Nr. 11 durch hohe
Reibungskräfte zwischen Beton und Schalung.

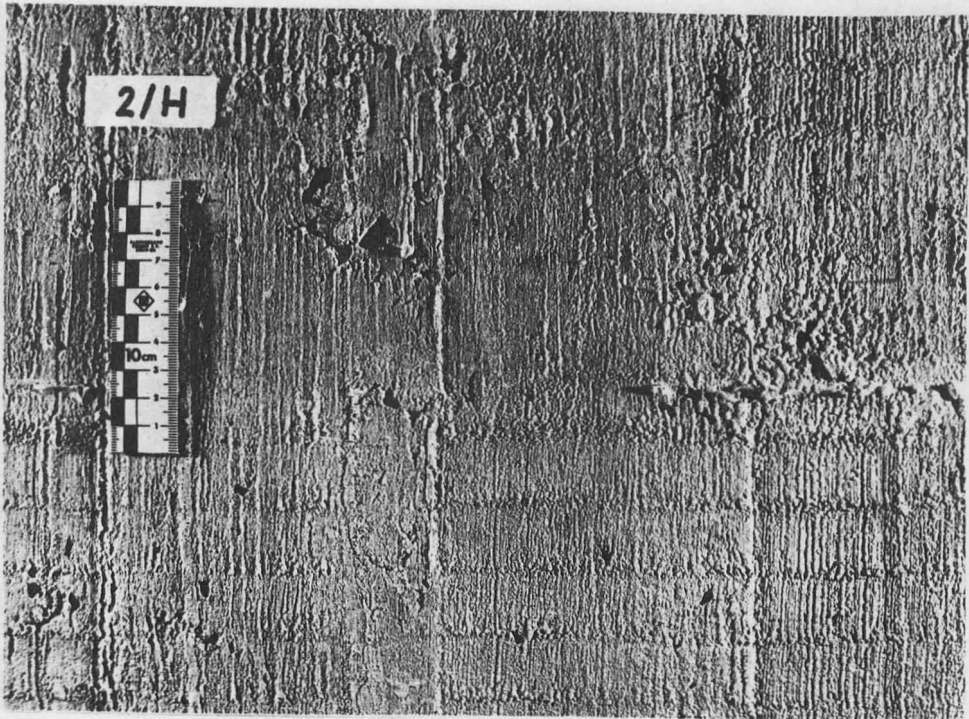
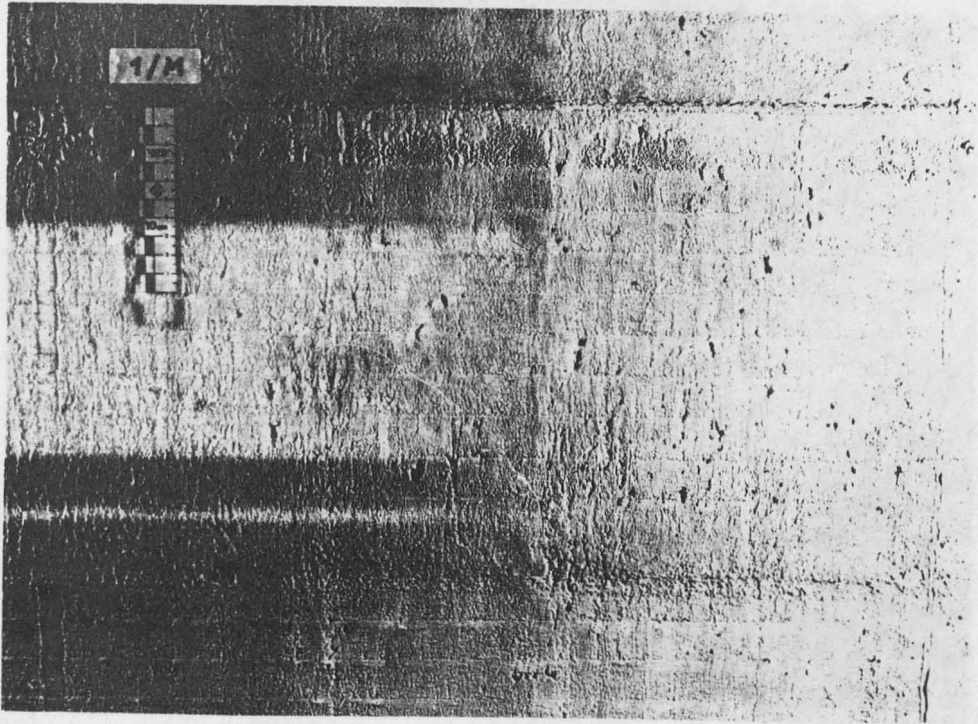
A79



Fotos: 21 UND 22

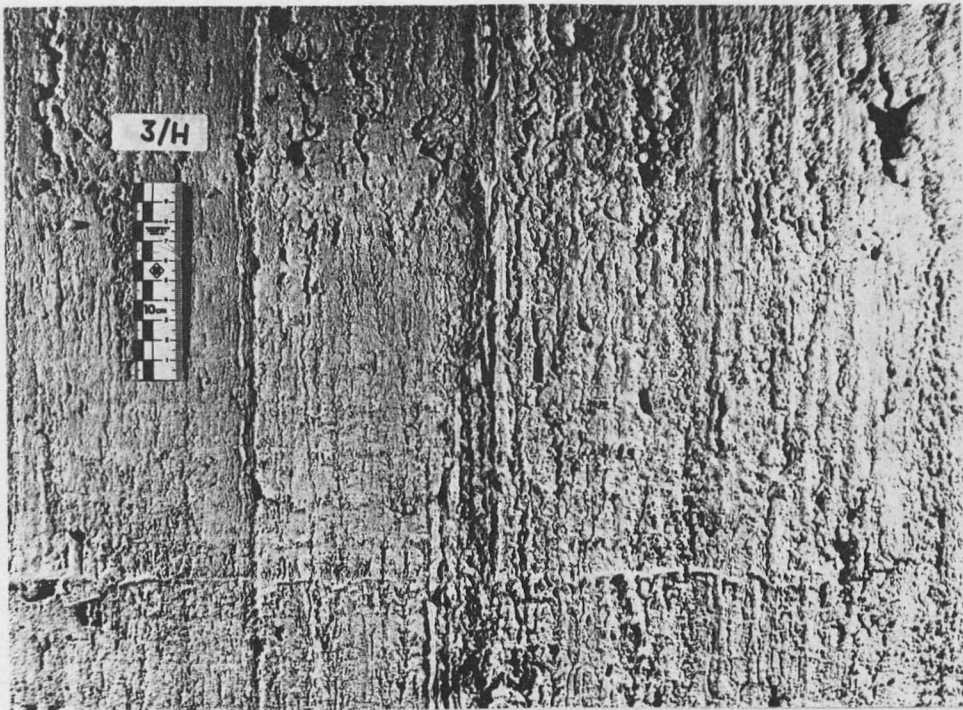
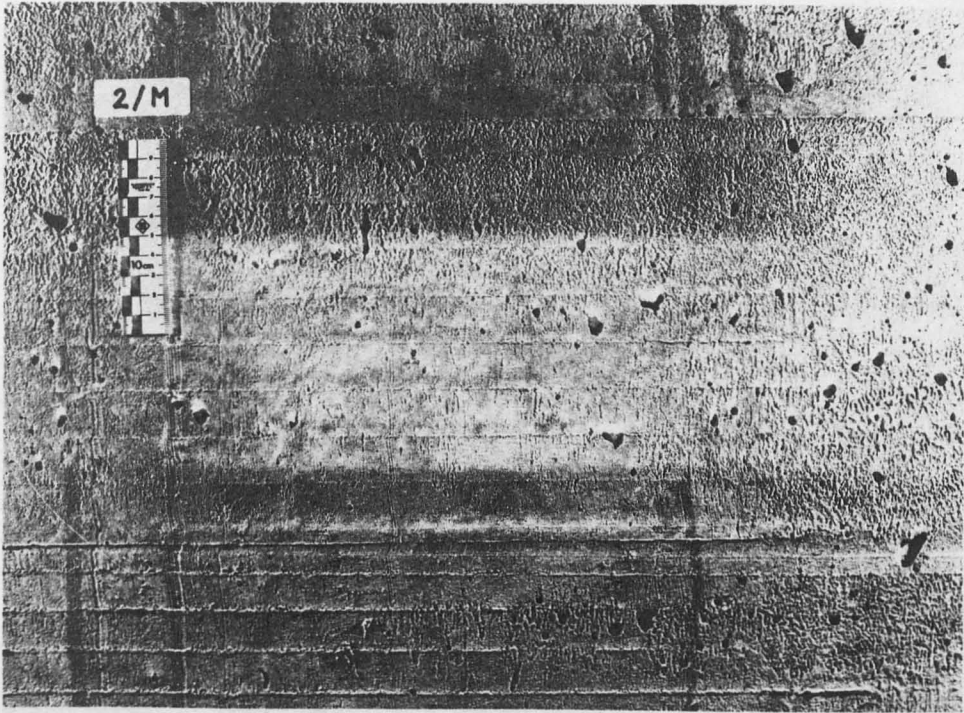
OBERFLÄCHENSTRUKTUR EINER IN BAUÜBLICHER ART
ABGERIEBENEN BETONoberFLÄCHE (0/NG) UND DER
VERSUCHSWAND NR. 1 (HOLZSCHALUNG).

A 80



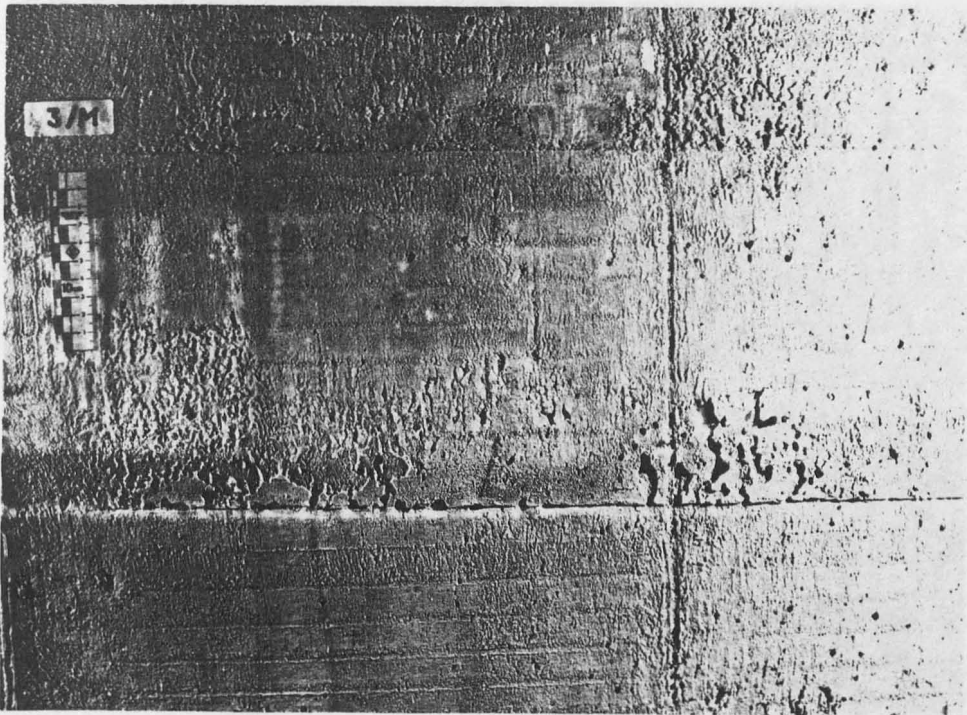
Fotos: 23 UND 24

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 1
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 2
(HOLZSCHALUNG).



FOTOS: 25 UND 26

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 2
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 3
(HOLZSCHALUNG),

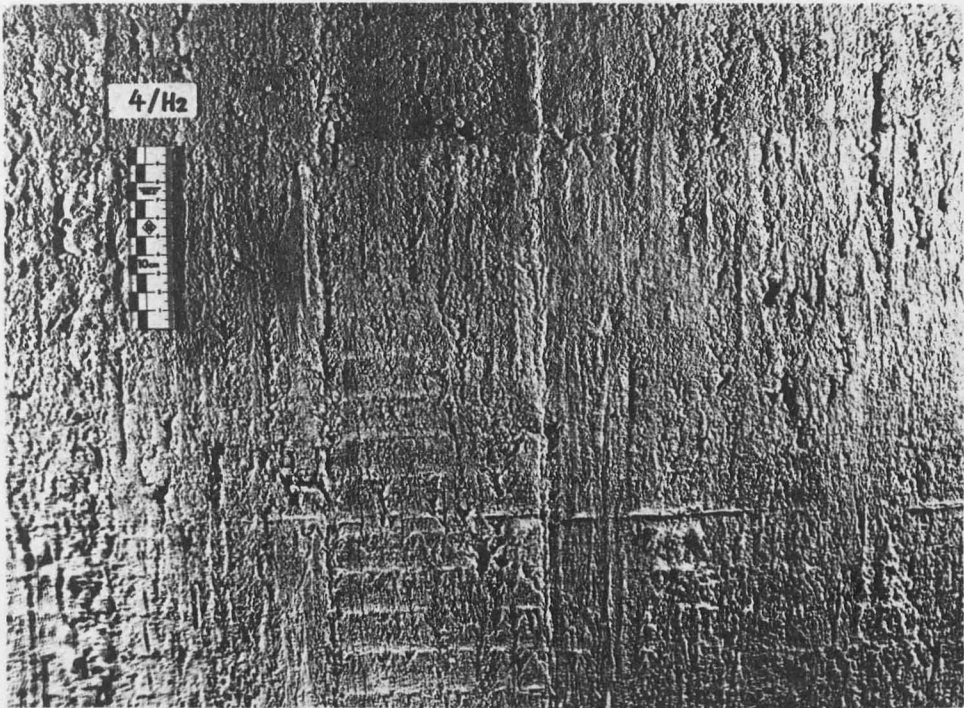


BETONDECKUNG 3 CM

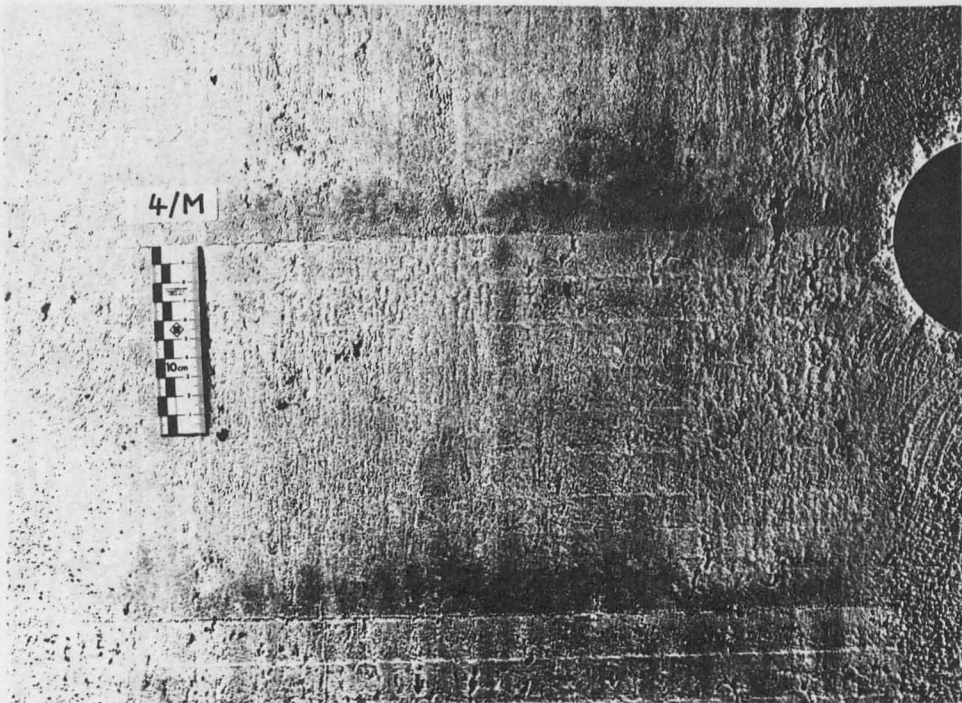
FOTOS: 27 UND 28

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 3
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 4
(HOLZSCHALUNG).

A 83



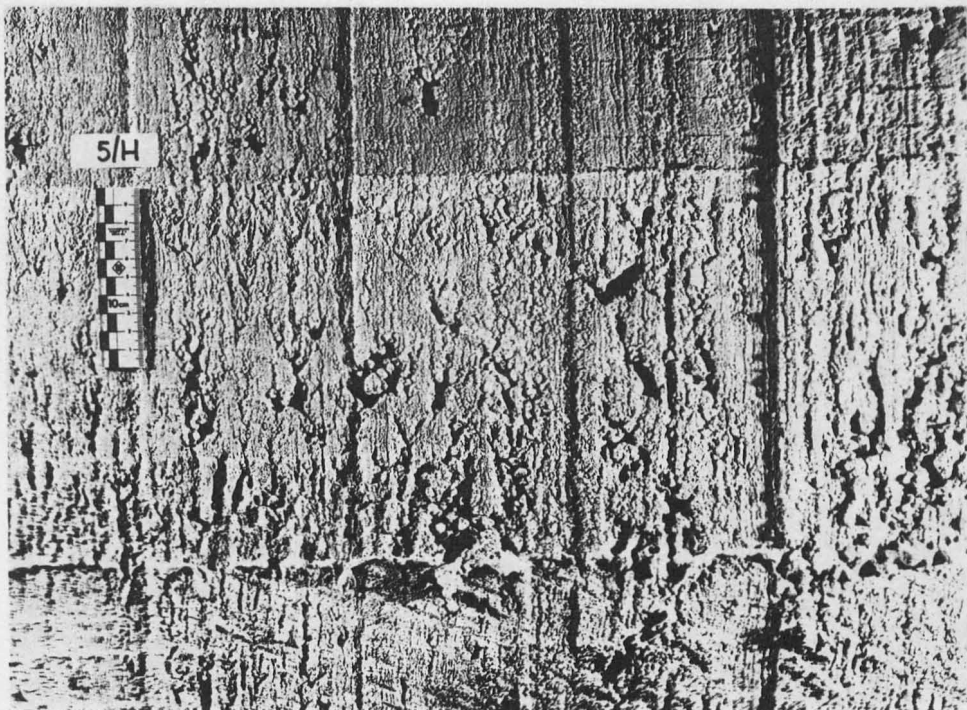
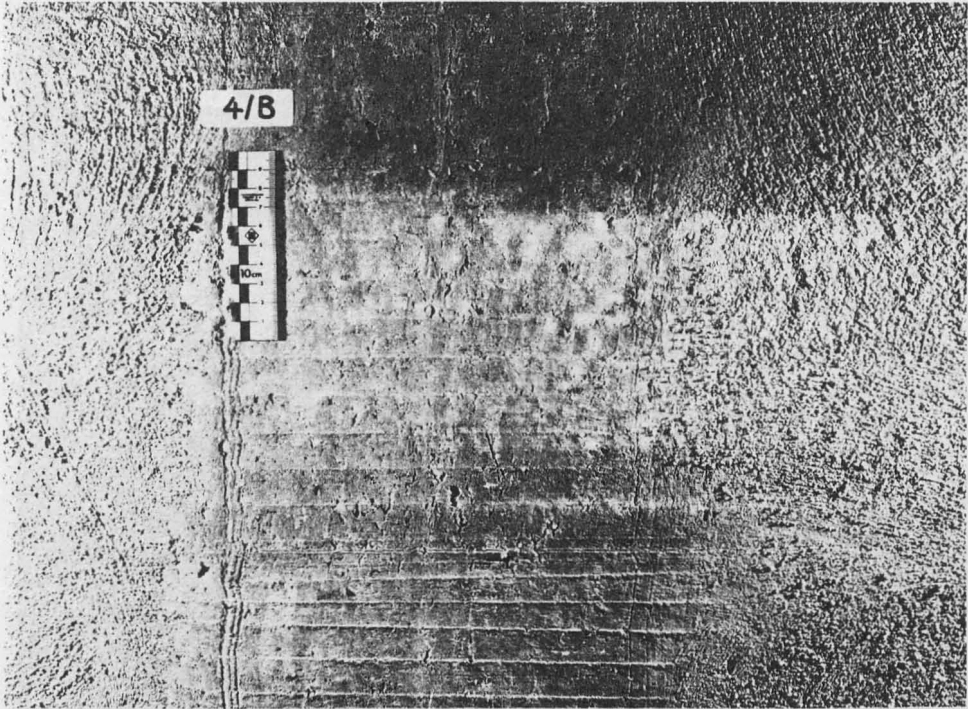
BETONDECKUNG 2 CM



FOTOS: 29 UND 30

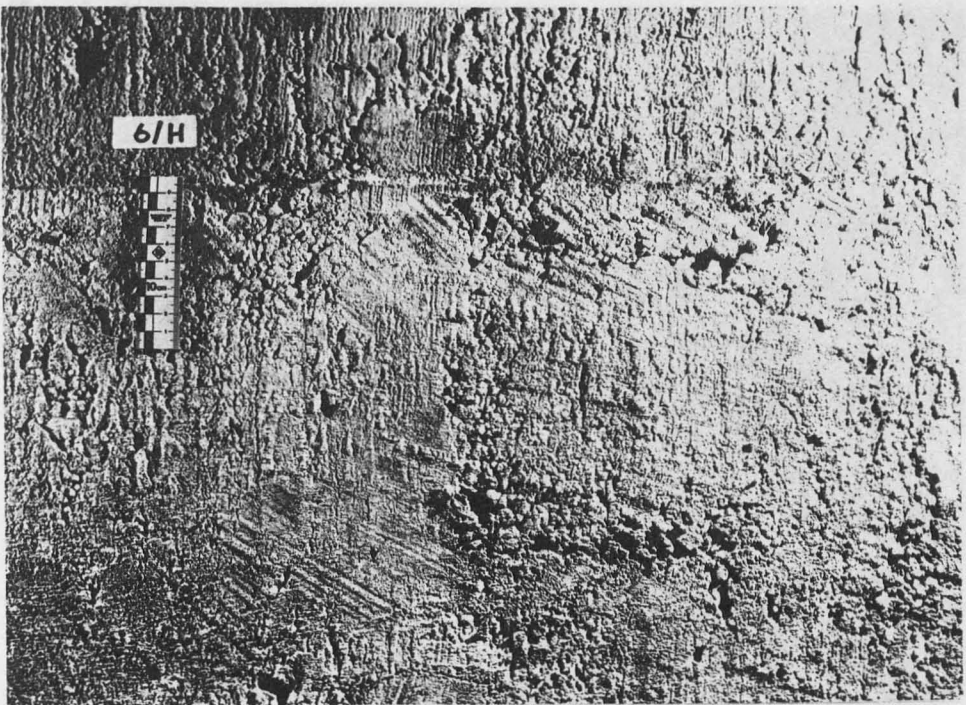
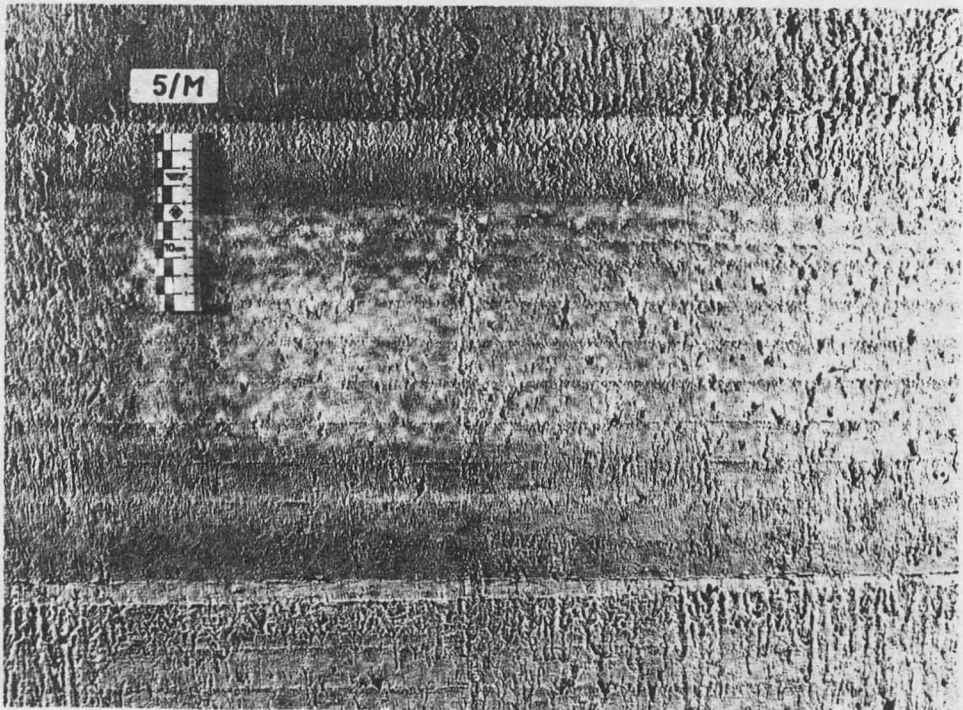
OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 4
(HOLZSCHALUNG UND SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE).

A 84



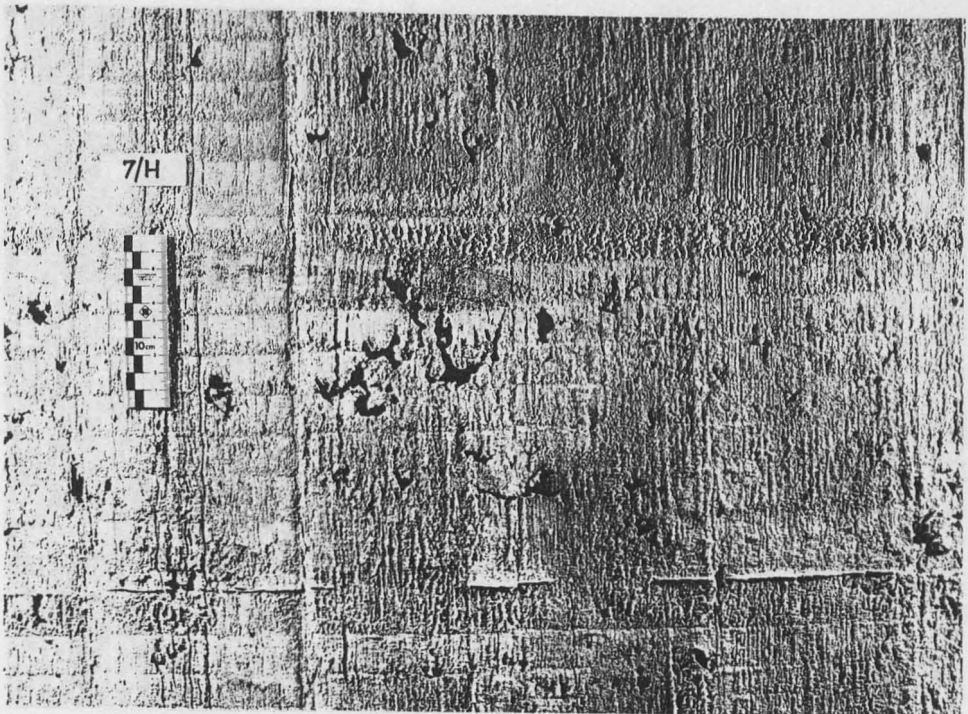
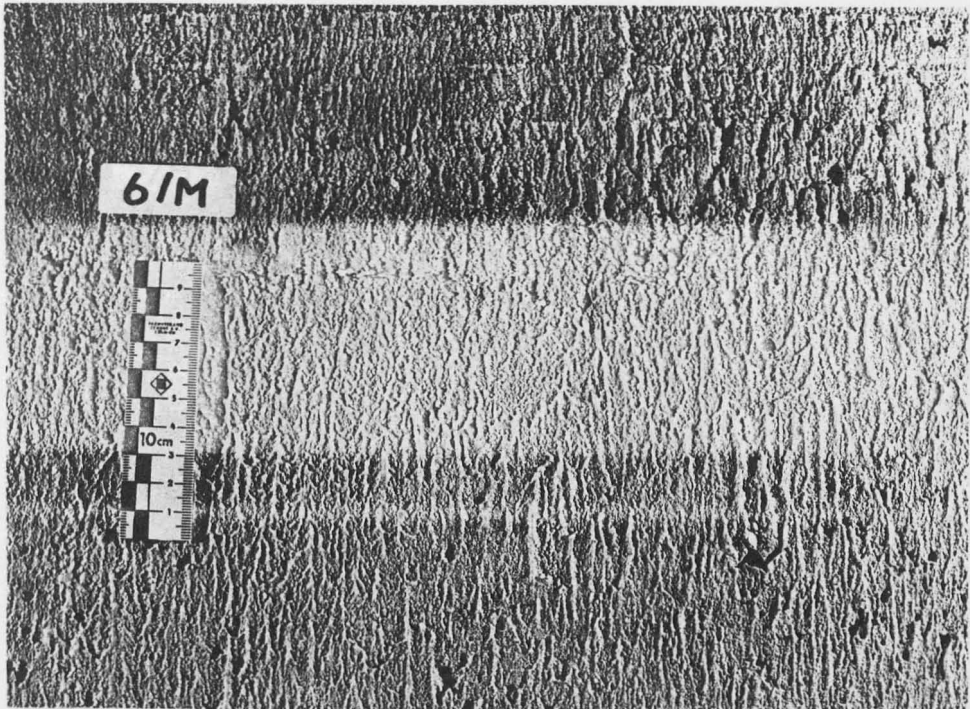
FOTOS: 31 UND 32

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 4
(SCHALUNG STAHLBLECH) UND NR. 5 (HOLZSCHALUNG).



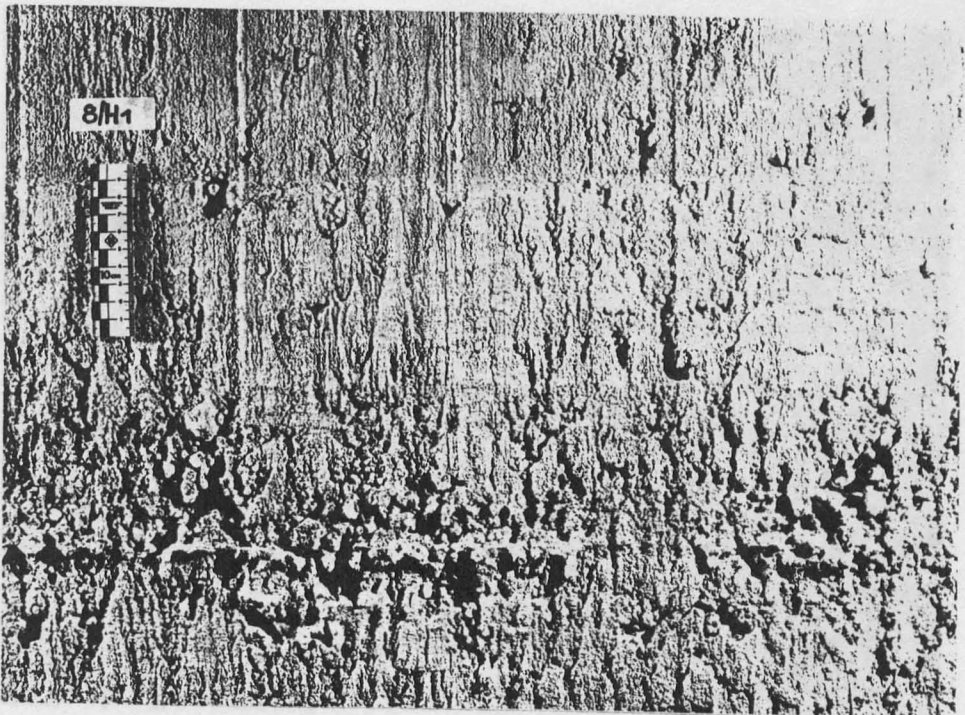
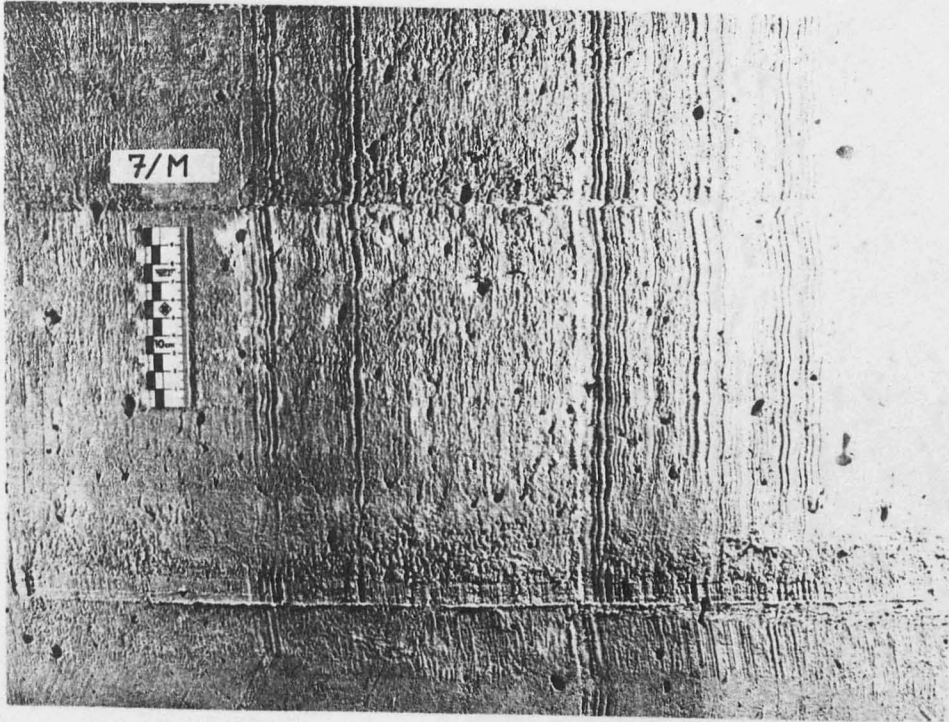
FOTOS: 33 UND 34

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 5
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 6
(HOLZSCHALUNG),



FOTOS: 35 UND 36

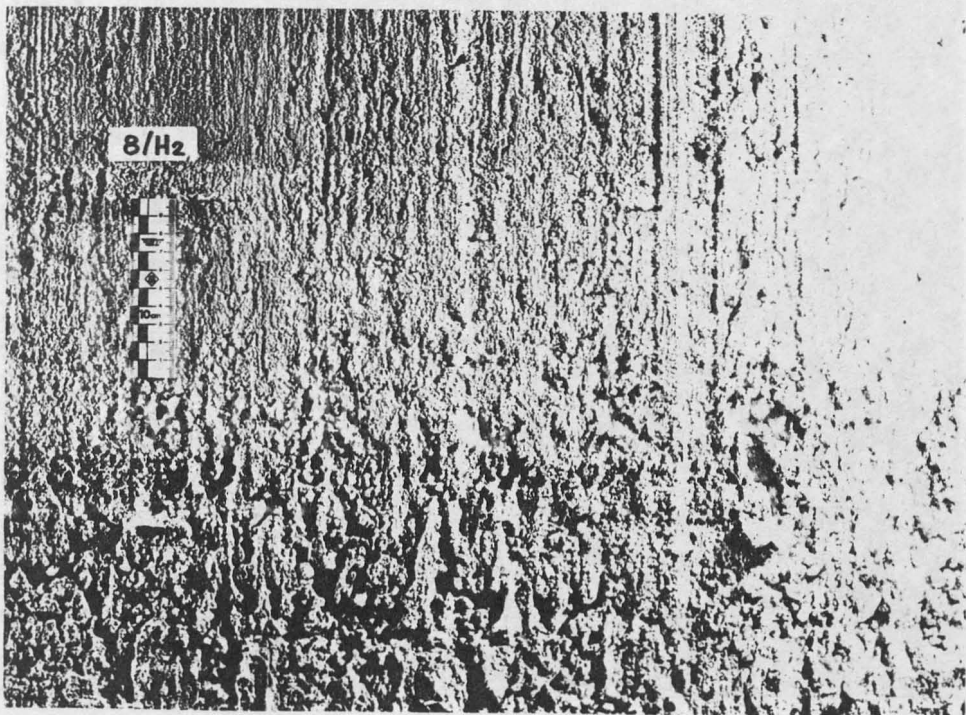
OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 6
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 7
(HOLZSCHALUNG),



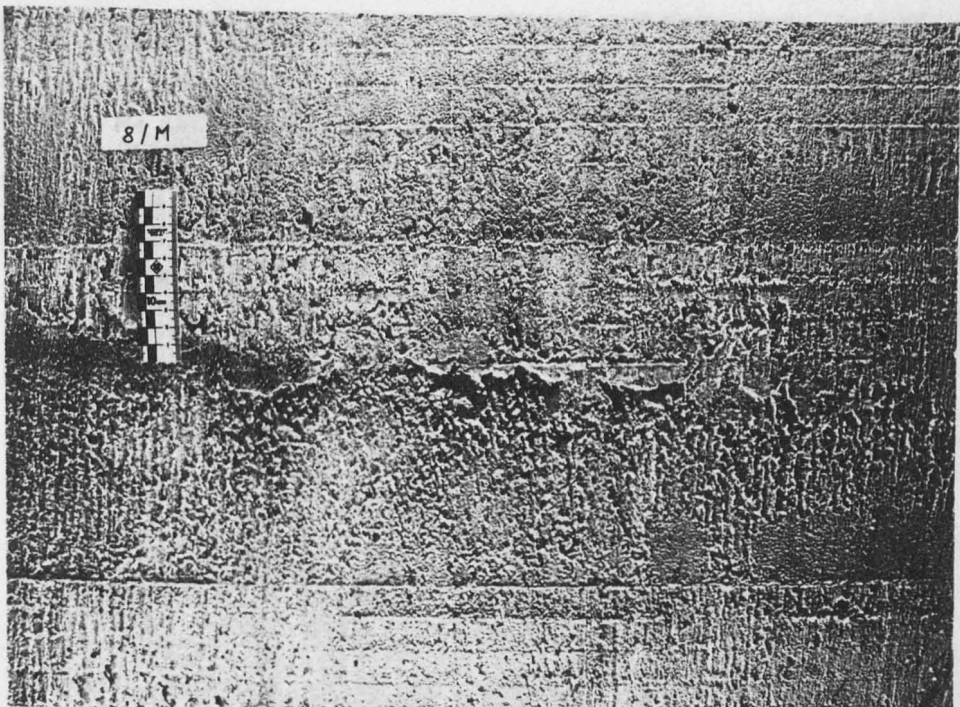
BETONDECKUNG 3 CM

FOTOS: 37 UND 38

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 7
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 8
(HOLZSCHALUNG),

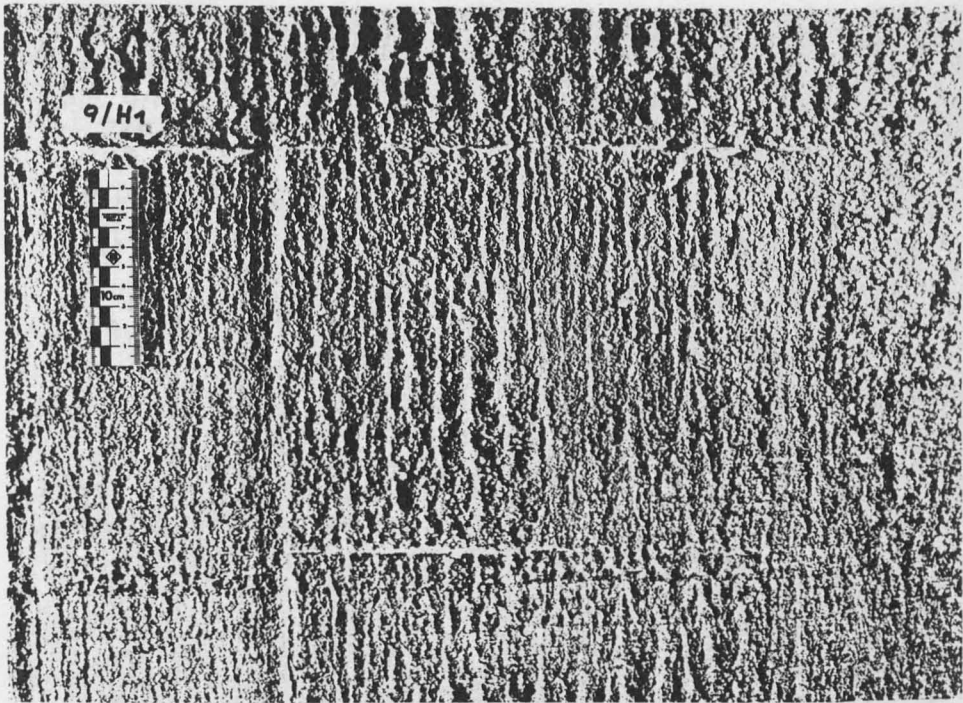
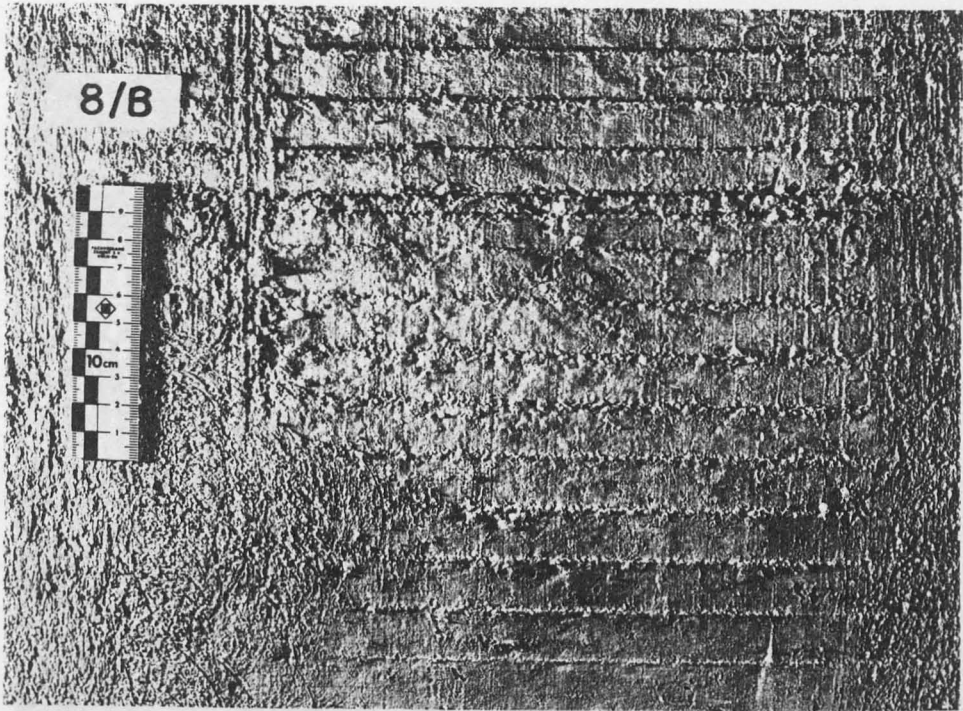


BETONDECKUNG 2 CM



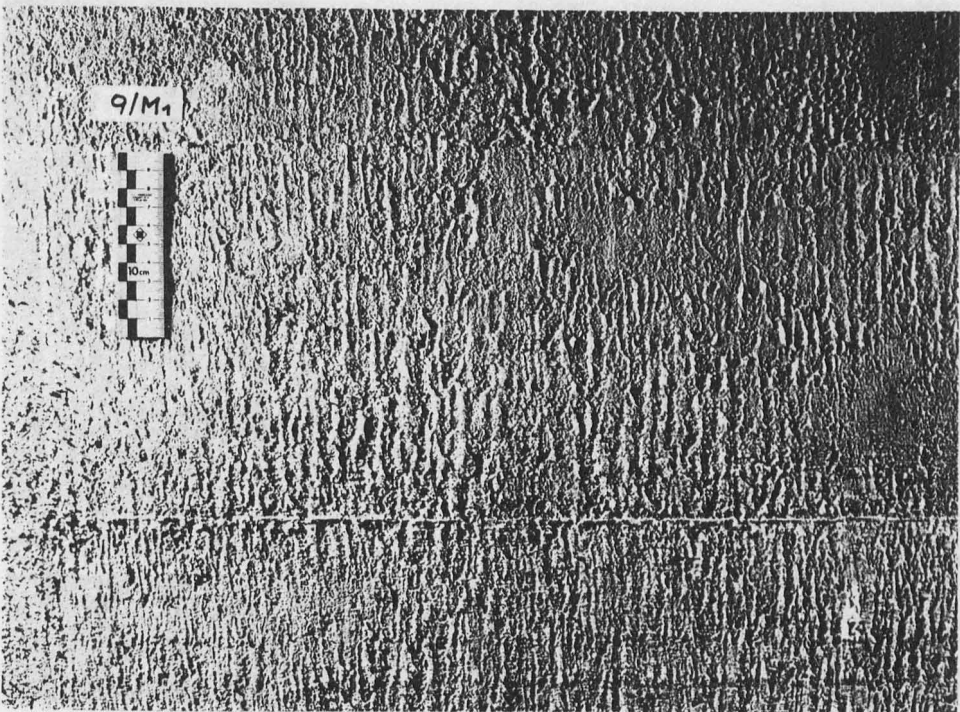
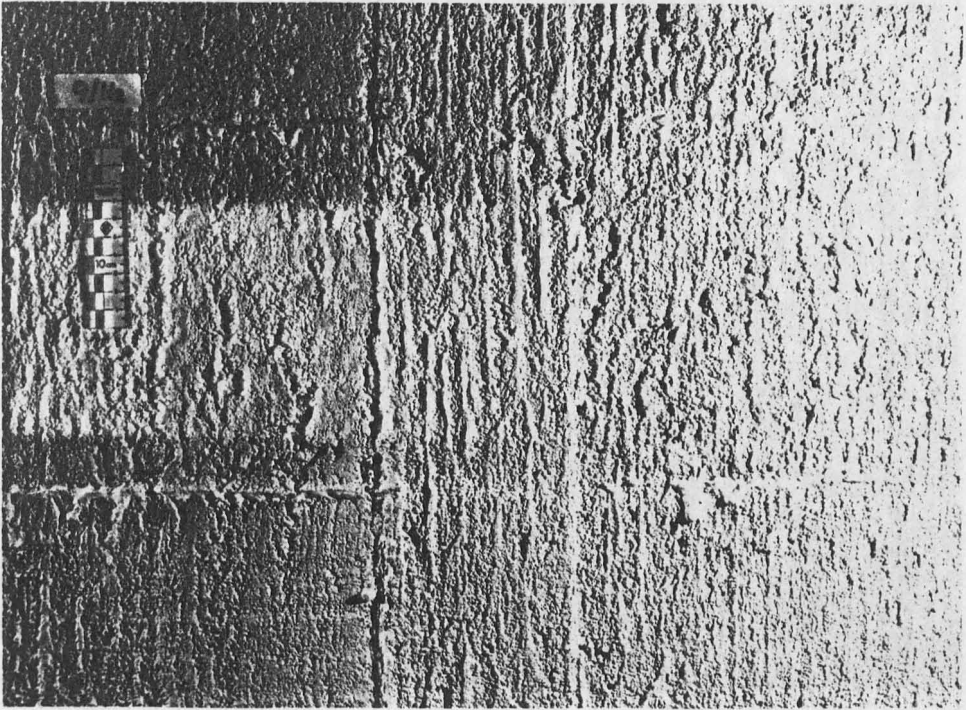
FOTOS: 39 UND 40

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 8
(HOLZSCHALUNG UND SCHALUNG MEHRSCHICHTENPLATTE).



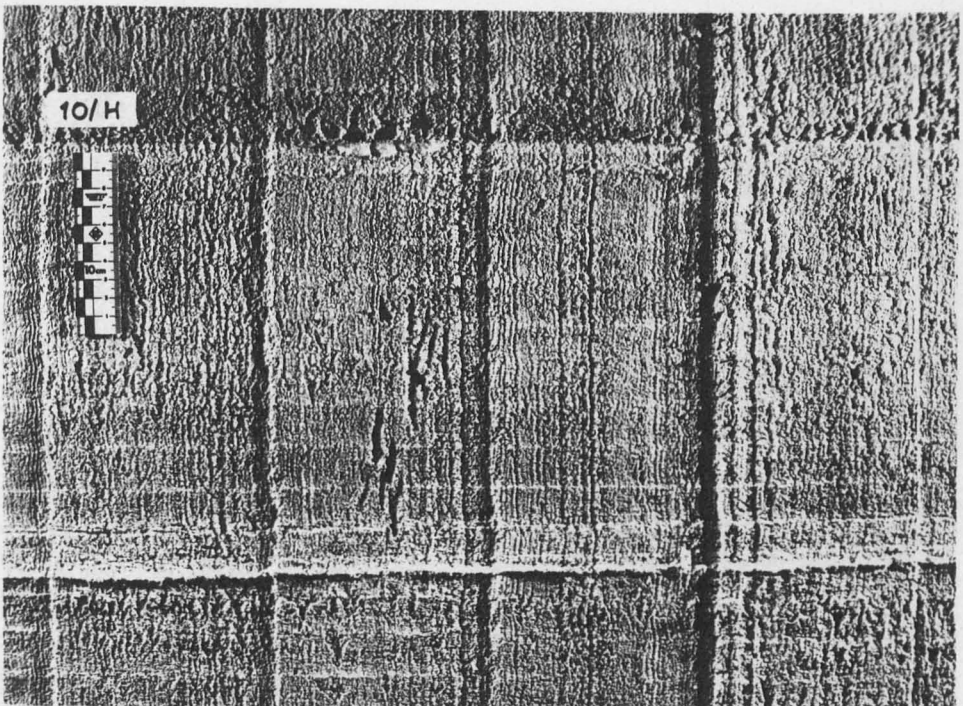
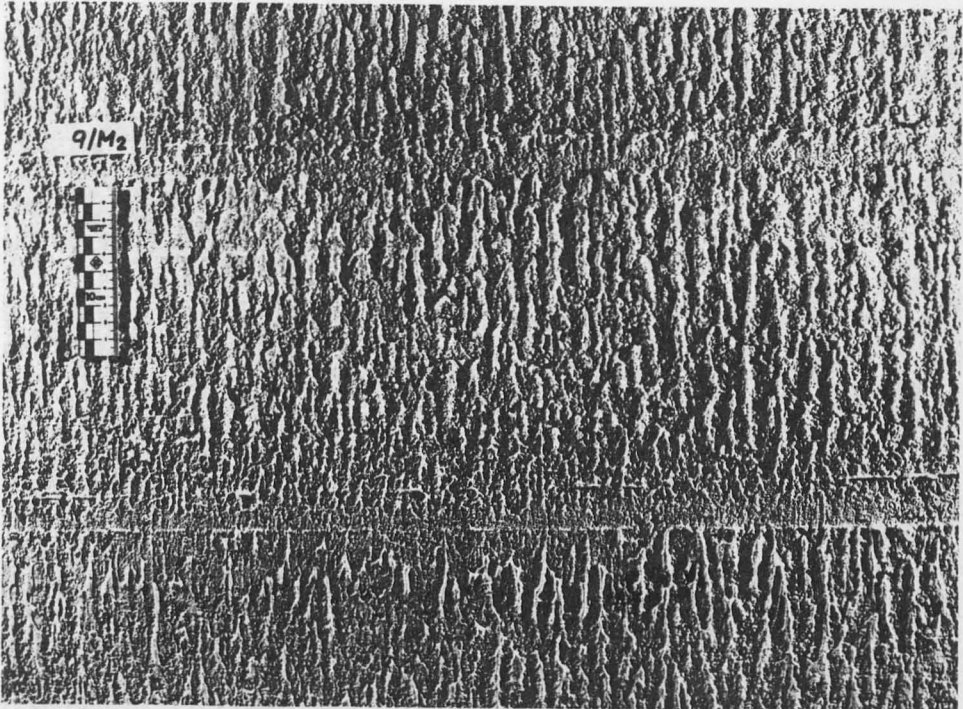
FOTOS: 41 UND 42

ÖBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 8
(SCHALUNG STAHLBLECH) UND NR. 9 (HOLZSCHALUNG).



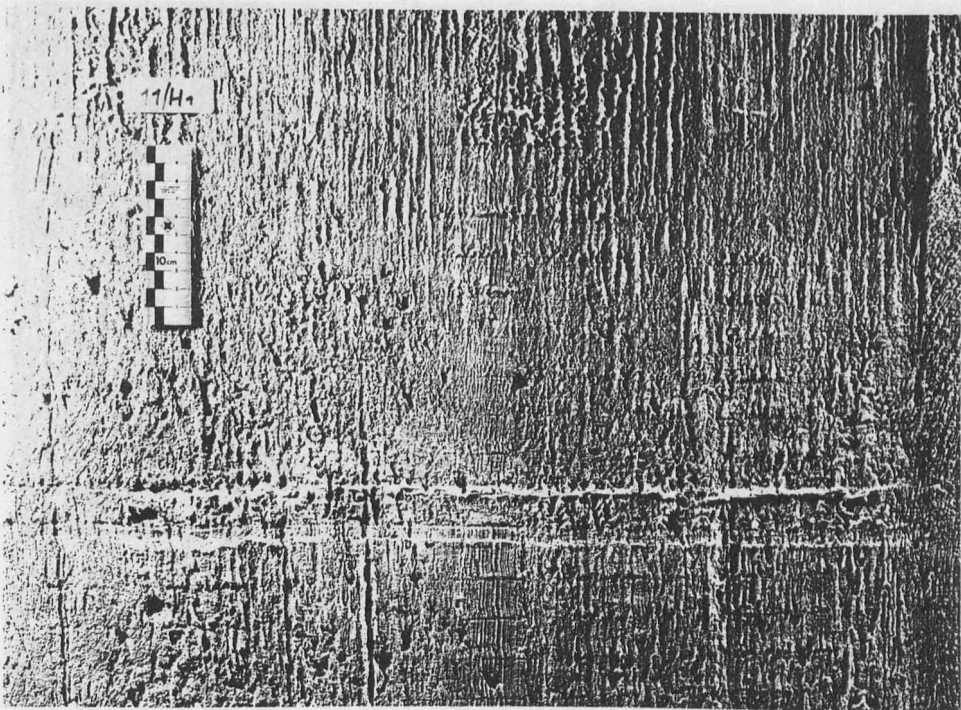
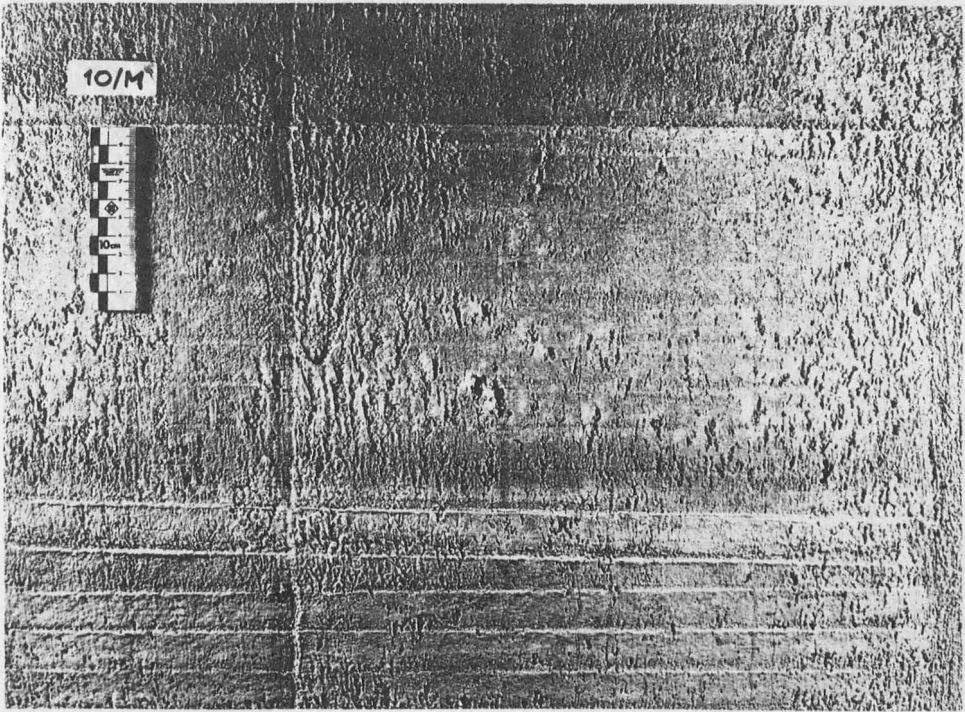
FOTOS: 43 UND 44

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 9
(HOLZSCHALUNG UND SCHALUNG MEHRSCHICHTENPLATTE),



FOTOS: 45 UND 46

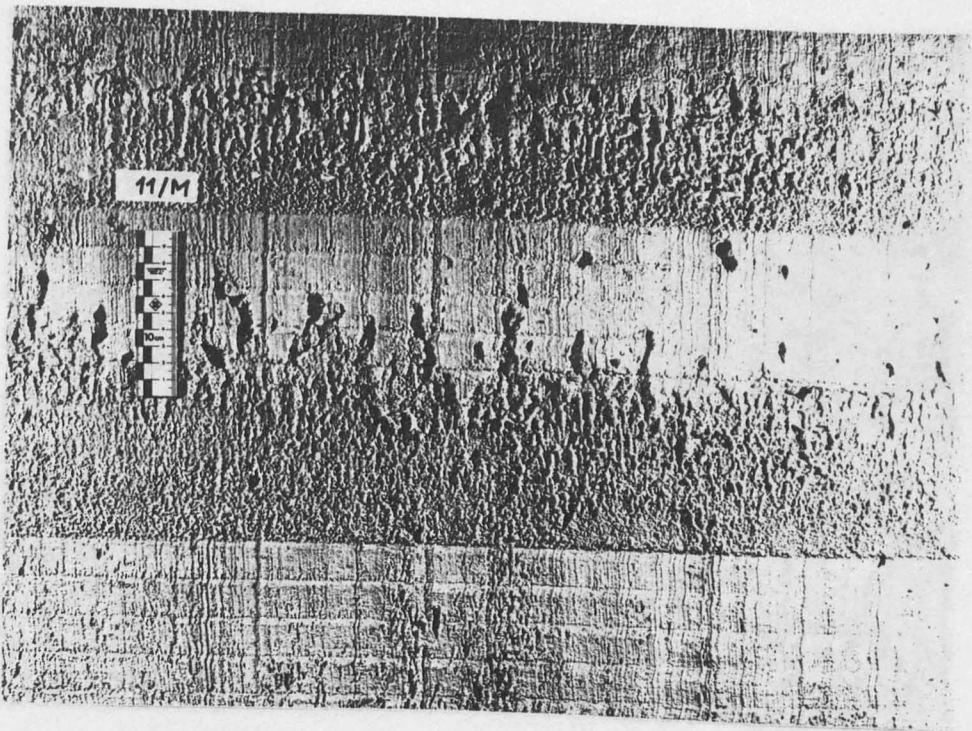
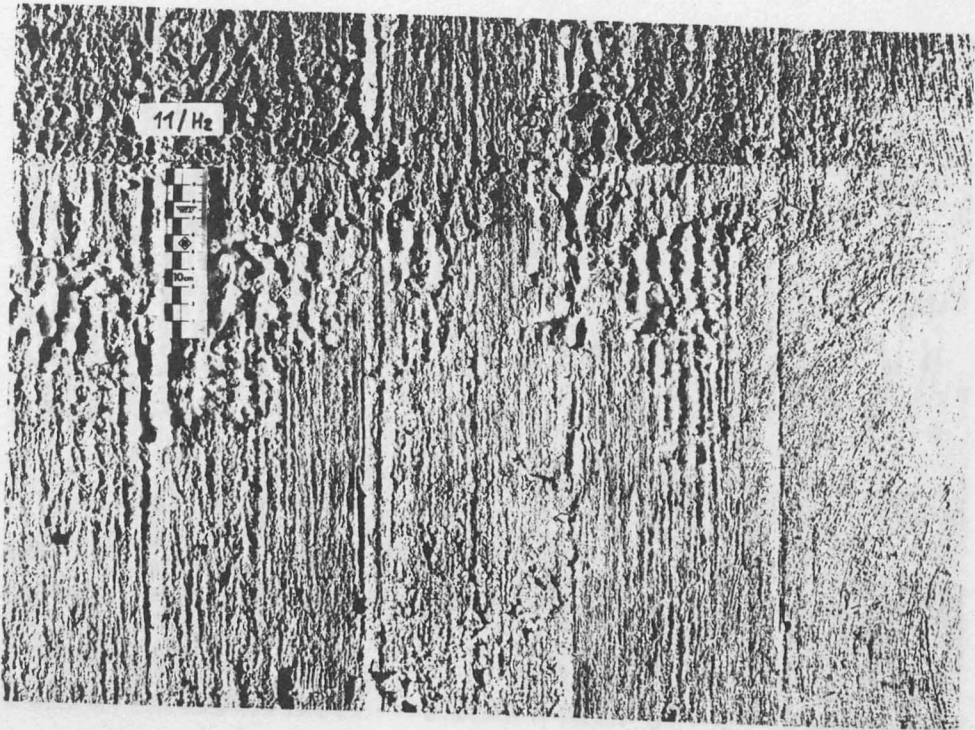
OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 9
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 10
(HOLZSCHALUNG).



FOTOS: 47 UND 48

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWÄNDE NR. 10
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE) UND NR. 11
(HOLZSCHALUNG).

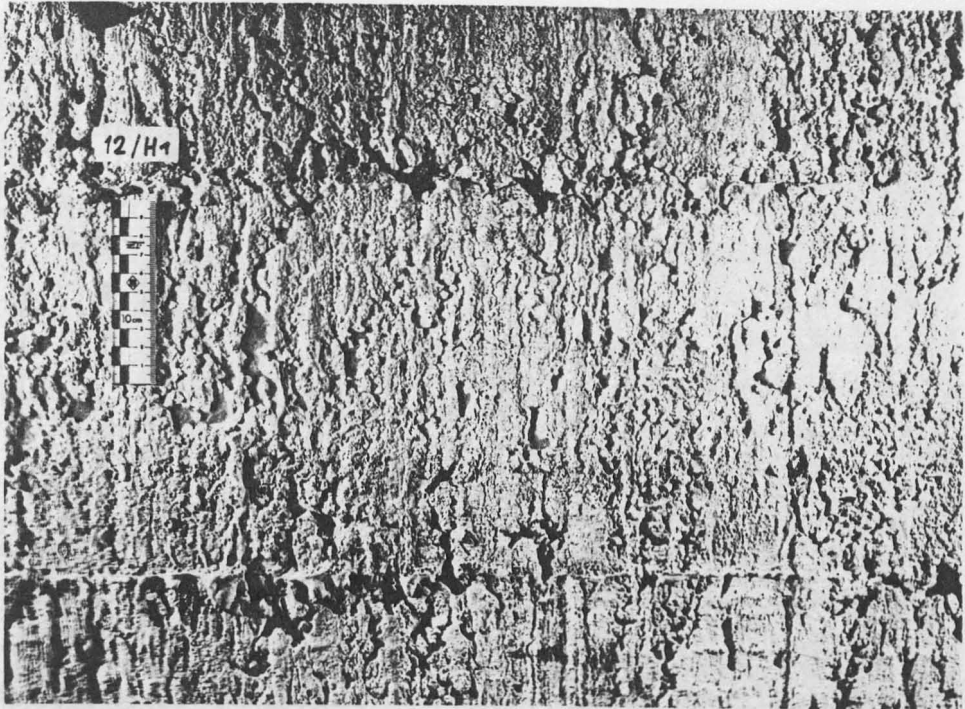
A93



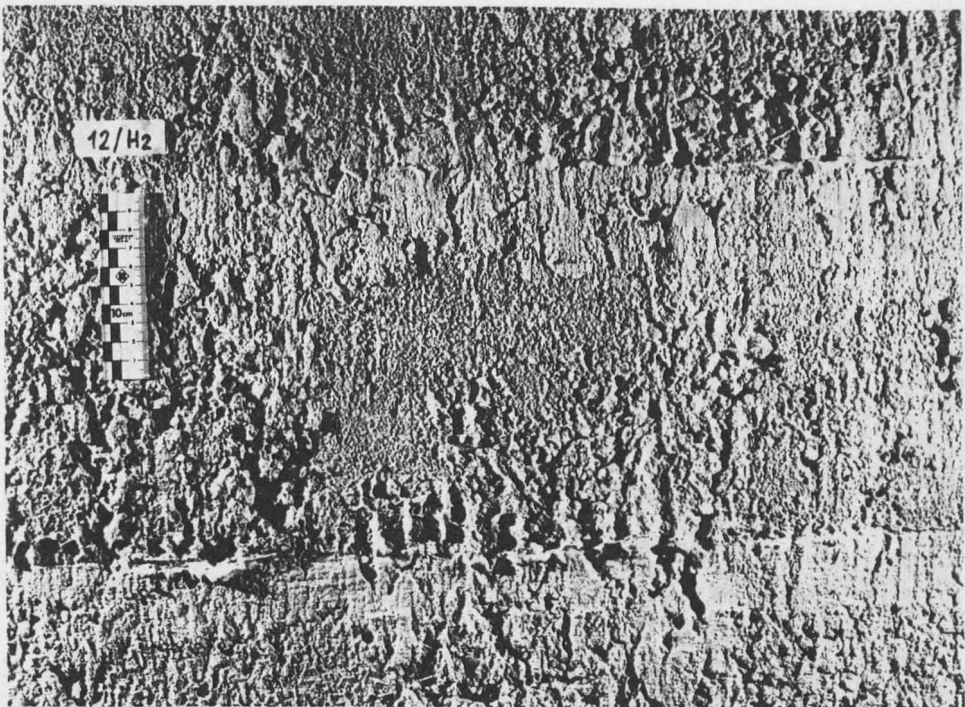
FOTOS: 49 UND 50

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 11
(HOLZSCHALUNG UND SCHALUNG MEHRSCHICHTENPLATTE).

A94



BETONDECKUNG 3 CM

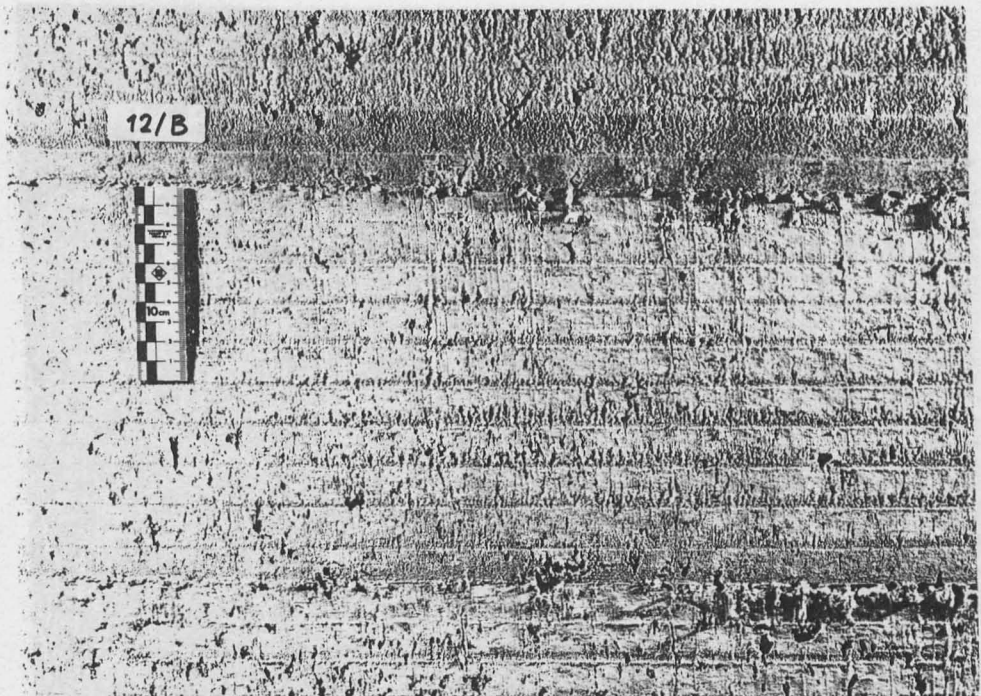
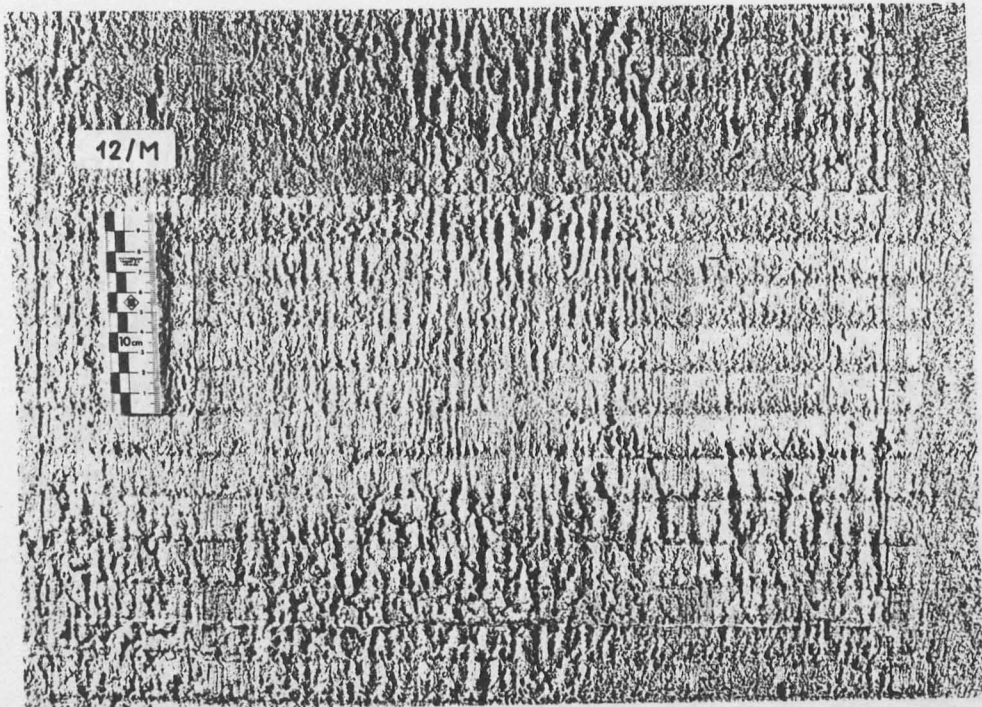


BETONDECKUNG 2 CM

FOTOS: 51 UND 52

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 12
(HOLZSCHALUNG).

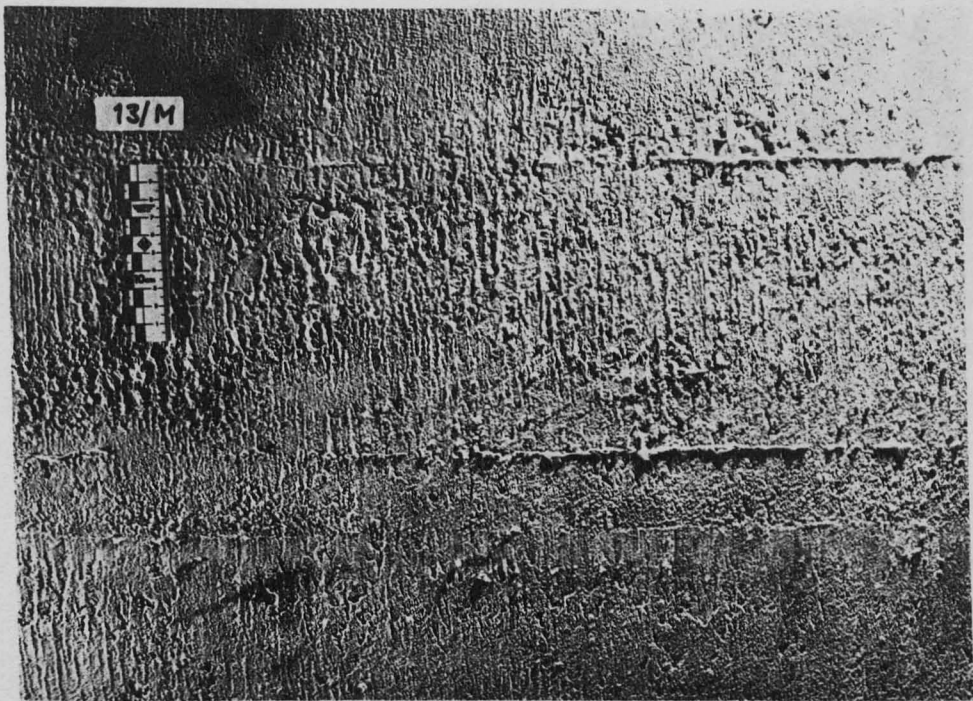
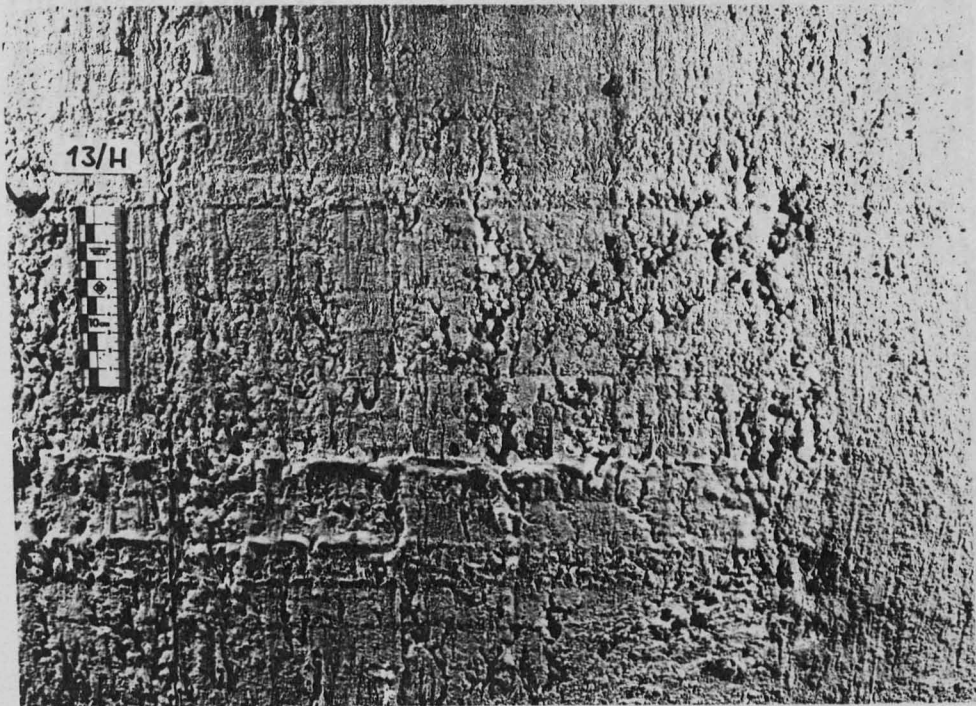
A 95



Fotos: 53 UND 54

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 12
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE; STAHLBLECH).

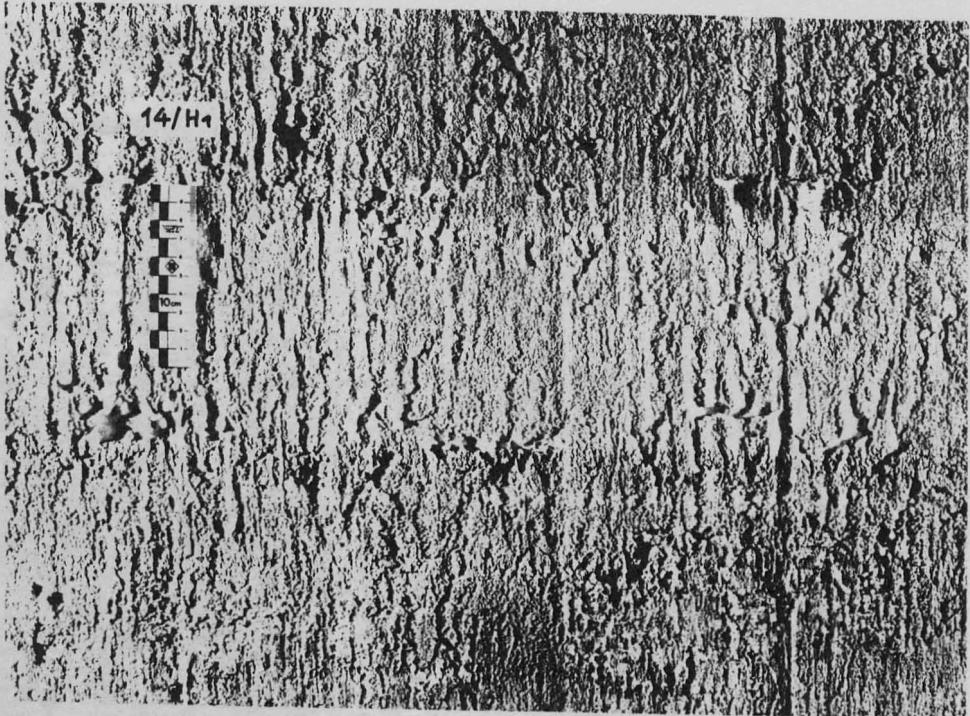
A96



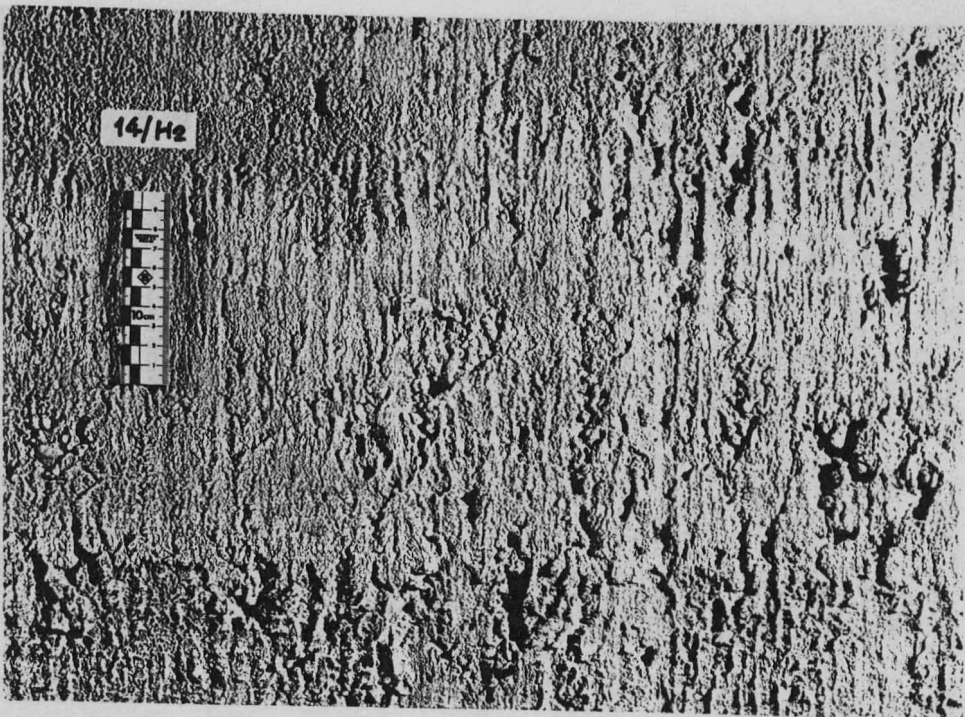
Fotos: 55 UND 56

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 13
(HOLZSCHALUNG, SCHALUNG MEHRSCHICHTENPLATTE).

A97



BETONDECKUNG 3 CM

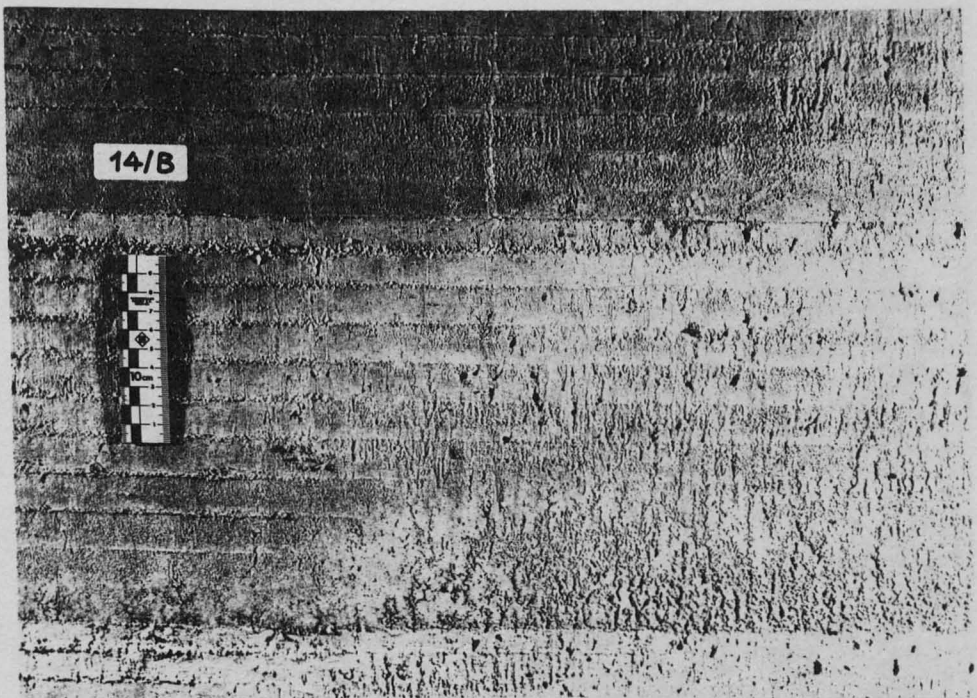
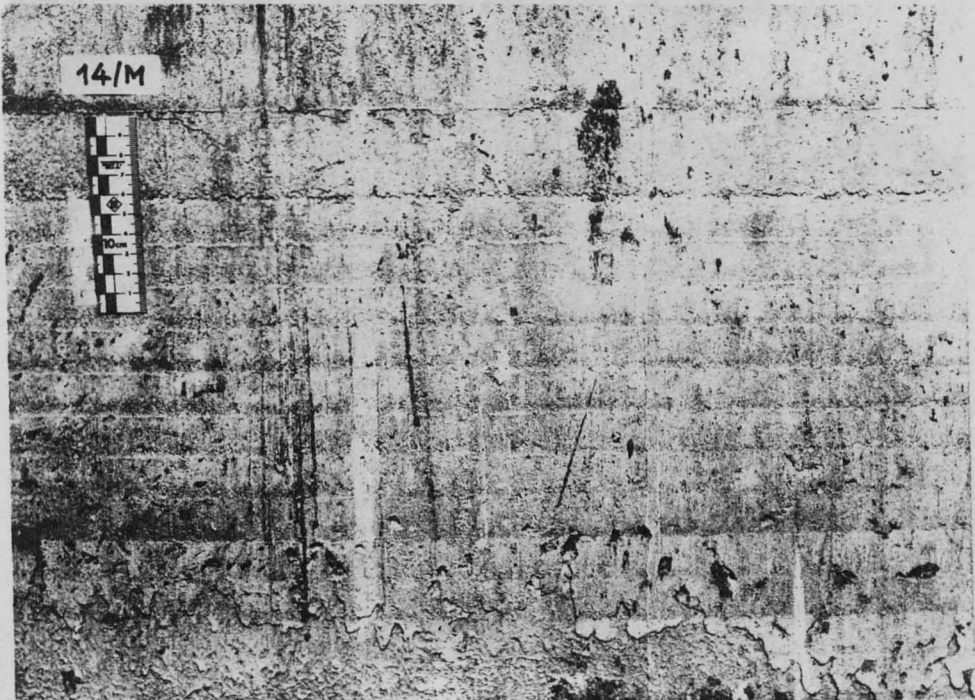


BETONDECKUNG 2 CM

FOTOS: 57 UND 58

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 14
(HOLZSCHALUNG).

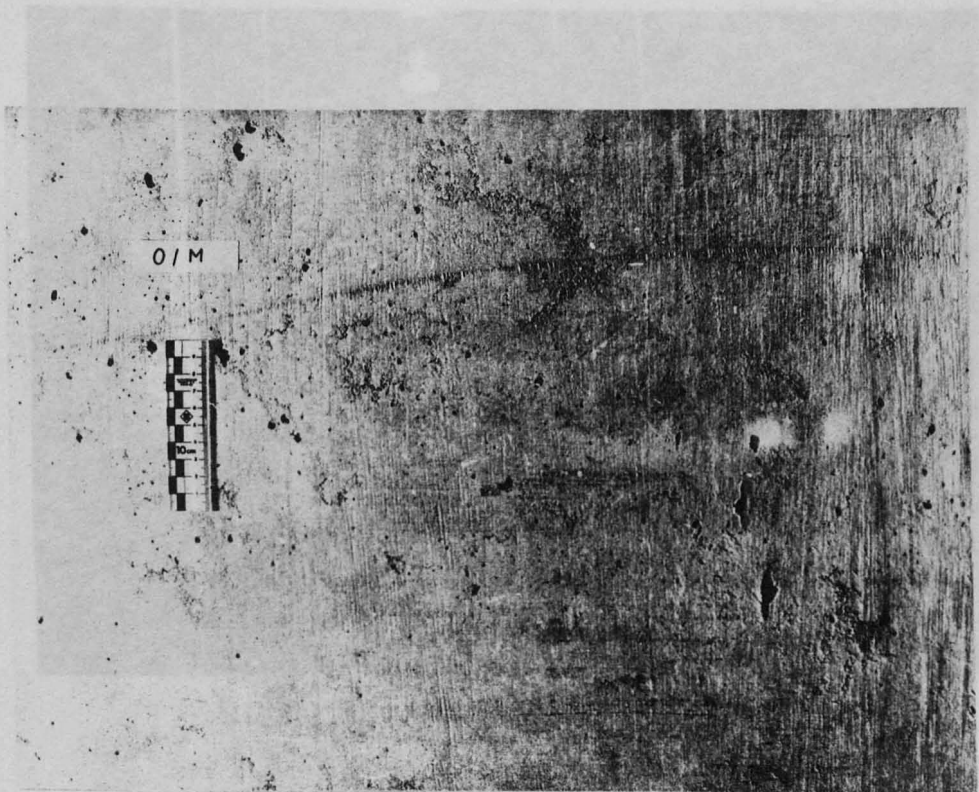
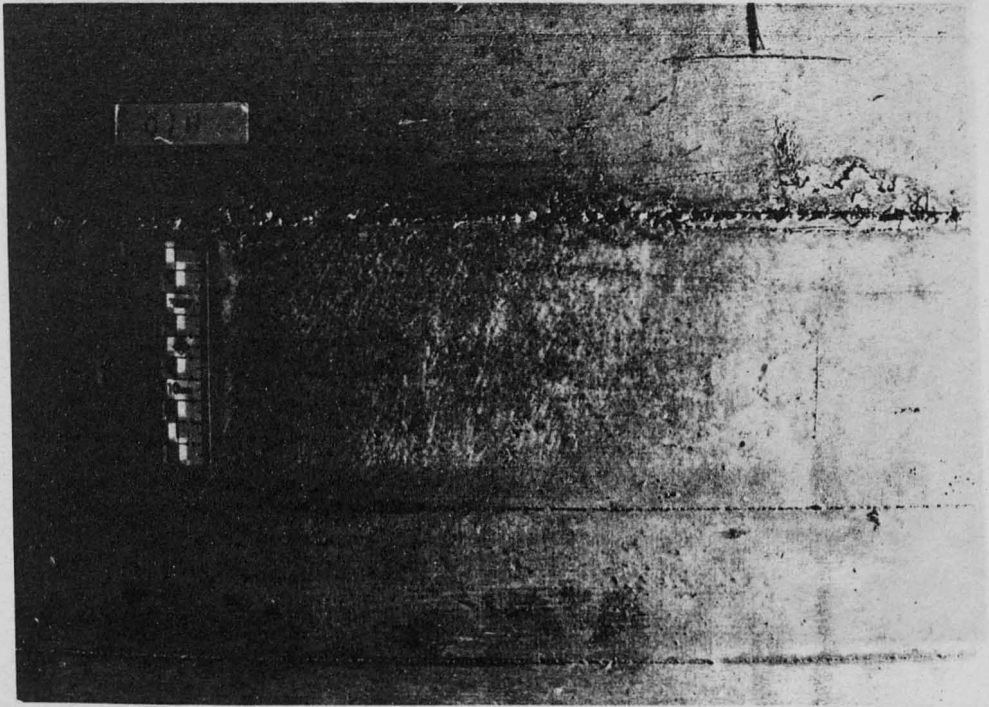
A98



FOTOS: 59 UND 60

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERSUCHSWAND NR. 14
(SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE; STAHLBLECH).

A99

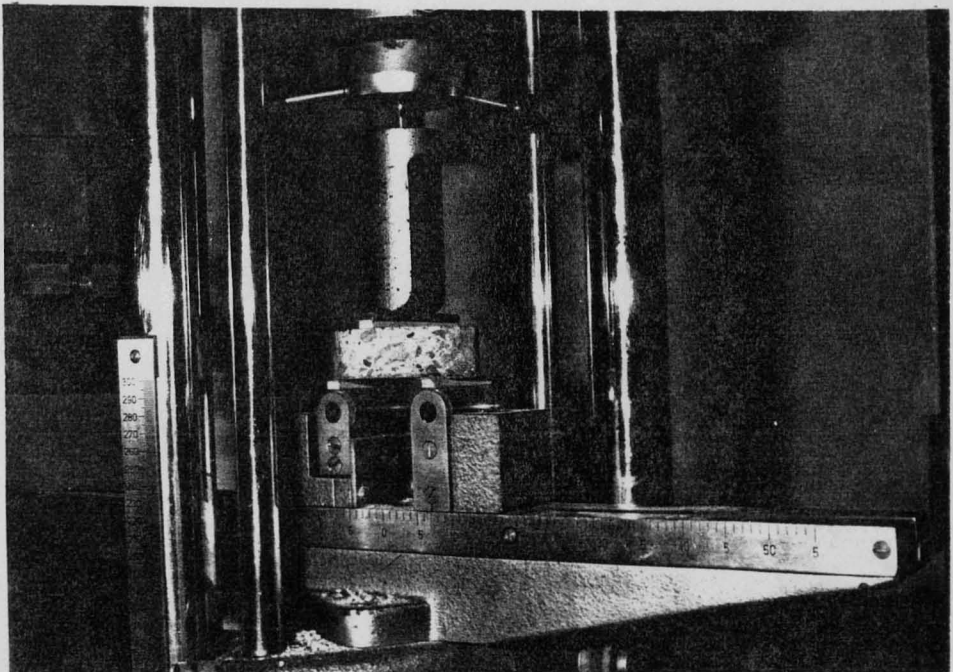
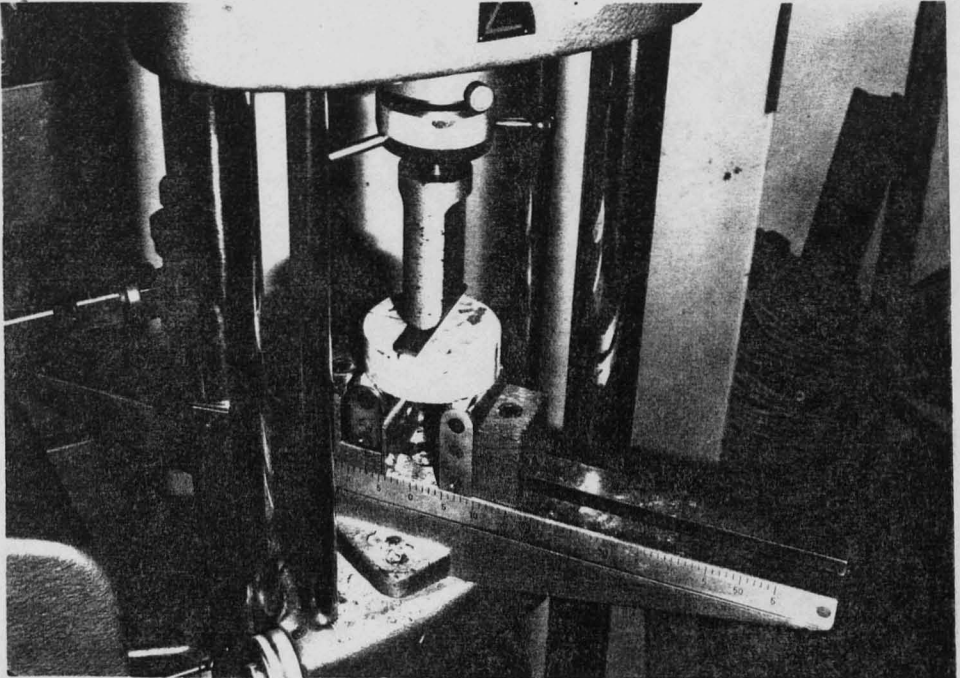


FOTOS: 61 UND 62

OBERFLÄCHENSTRUKTUR DER VERGLEICHSWÄNDE AUS
ORTBETON.

O/H HOLZSCHALUNG (BRETTER)

O/M SCHALUNG MEHRSCICHTENPLATTE



Fotos 63 und 64

Versuchseinrichtung zur Biegezugprüfung des
Betons der Randzone der Versuchswände.

